



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

LÁVKA PRO PĚŠÍ

FOOTBRIDGE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jan Blaška

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. KAREL SÝKORA

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM	N3607 Stavební inženýrství
TYP STUDIJNÍHO PROGRAMU	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
STUDIJNÍ OBOR	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
PRACOVISŤE	Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

DIPLOMANT	Bc. Jan Blaška
NÁZEV	Lávka pro pěší
VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE	Ing. Karel Sýkora
DATUM ZADÁNÍ	31. 3. 2016
DATUM ODEVZDÁNÍ	13. 1. 2017

V Brně dne 31. 3. 2016

.....
prof. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

1. Prostorové uspořádání lávky.
2. ČSN EN 1993 (731401), Navrhování ocelových konstrukcí.
3. ČSN EN 1995 (731701), Navrhování dřevěných konstrukcí.
3. Literatura podle doporučení vedoucího diplomové práce.
4. Odborné publikace v časopisech a sbornících, které se vztahují k řešené problematice, podle doporučení vedoucího diplomové práce.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ (ZADÁNÍ, CÍLE PRÁCE, POŽADOVANÉ VÝSTUPY)

Proveďte návrh a posouzení lávky pro pěší na rozpětí 30 m.
v Loučné nad Desnou.

Konstrukci orientačně navrhnete v několika variantách, vybranou variantu podrobně rozpracujete.

Požadované výstupy:

1. Technická zpráva obsahující základní charakteristiky navržené konstrukce, požadavky na materiál, spojovací prostředky, montáž a ochranu.
2. Statický výpočet hlavních nosných prvků a částí konstrukce.
3. Výkresová dokumentace obsahující zejména dispoziční výkres, výkres vybraných konstrukčních dílců, charakteristické detaily podle pokynů vedoucího diplomové práce.
4. Orientační výkaz spotřeby materiálu.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....

Ing. Karel Sýkora

Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Předmětem diplomové práce je dřevěná lávka pro pěší a cyklisty přes řeku Desnou v obci Loučná nad Desnou. Délka lávky je 30 m, šířka 3 m a výška je proměnná od 4 do 5 m.

Lávka je zastřešená se sklonem střechy 20° v příčném směru a v podélném směru zaujímá tvar oblouku. Krytina je trapézový plech.

Konstrukce je prostorová příhradová konstrukce vytvořená spojením dvou hlavních příhradových nosníků krokviemi, příčníky a ztužidly. Příhradovou konstrukci tvoří rovný spodní pás, zakřivený horní pás a diagonály. Na čelech lávky jsou ocelové ztužující rámy.

Materiál konstrukce je převážně lepené lamelové dřevo, dále rostlé dřevo a ocel. Ocel je použita pro spojovací prostředky a pro ztužující rámy na čelech lávky.

KLÍČOVÁ SLOVA

dřevěná lávka pro pěší a cyklisty, příhradový nosník, lepené lamelové dřevo, trapézový plech, ocelový rám, prostorová příhradová konstrukce, krokev, příčník

ABSTRACT

The subject of the final thesis is timber footbridge for pedestrians and cyclists over the Desna river in Loučna nad Desnou village. The length of the footbridge is 30 m, width 3 m and height is variable from 4 to 5 m.

The footbridge is covered with roof inclination of 20° in transverse direction and the roof is arch in longitudinal direction. Roofing is metal sheet.

The structure is three-dimensional truss consists of two truss connected by rafters, floor beams and by members of bracing. The 2D-truss consists of bottom chord, top arch chord and webs. There are end posts made of steel bracing frames.

The material of structure is mostly glued laminated timber, then timber and steel. The steel is used for connectors and steel bracing frames.

KEYWORDS

footbridge for pedestrians and cyclists, truss, glued laminated timber, metal sheet, steel frame, three-dimensional truss, rafter, floor beam

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Jan Blaška *Lávka pro pěší*. Brno, 2016. 343 s., 6 s. + 3 výkresy formátu A0 příl.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Karel Sýkora

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 2. 1. 2017



Bc. Jan Blaška
autor práce

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu diplomové práce ing. Karlovi Sýkorovi za velmi přínosné konzultace v době psaní diplomové práce.

Dále bych chtěl poděkovat svým rodičům za to, že mě během psaní této práce nebo i během samotného studia podporovali.

OBSAH

A	ÚVOD	13
B	VÝBĚR KONSTRUKCE	17
C	STATICKÝ VÝPOČET	26
	1 Zatížení na konstrukci	
	1.1 Stálé zatížení	27
	1.2 Proměnné zatížení	
	1.2.1 Sníh	28
	1.2.2 Vítr	30
	1.2.3 Doprava	40
	1.2.4 Staveništní zatížení	42
	1.2.5 Užité zatížení střechy	42
	2 Kombinace zatížení	
	2.1 Mezní stav únosnosti (MSÚ)	43
	2.2 Mezní stav použitelnosti (MSP)	43
	3 Výpočet hlavních nosných prvků a částí konstrukce	
	3.1 Pochozí vrstva mostovky	46
	3.1.1 Statické schéma, zatížení, výpočet a vnitřní síly	46
	3.1.2 Výpočet návrhových hodnot pevností a průřezových charakteristik	48
	3.1.3 Mezní stav únosnosti	50
	3.1.4 Mezní stav použitelnosti	52
	3.2 Trapézový plech	54
	3.2.1 Statické schéma, zatížení, výpočet a vnitřní síly	54
	3.2.2 Materiál a průřezové charakteristiky	57
	3.2.3 Mezní stav únosnosti	57
	3.2.4 Mezní stav použitelnosti	67
	3.3 Horní pás příhradového nosníku	68
	3.3.1 Poloha v konstrukci, zatížení, výpočet a vnitřní síly	68
	3.3.2 Výpočet návrhových hodnot pevností a průřezových charakteristik	70
	3.3.3 Mezní stav únosnosti	73
	3.3.4 Mezní stav použitelnosti	80
	3.4 Spodní pás příhradového nosníku	82
	3.4.1 Poloha v konstrukci, zatížení, výpočet a vnitřní síly	82
	3.4.2 Výpočet návrhových hodnot pevností a průřezových charakteristik	85
	3.4.3 Mezní stav únosnosti	87
	3.4.4 Mezní stav použitelnosti	93
	3.5 Diagonála D1	95
	3.5.1 Poloha v konstrukci, zatížení, výpočet a vnitřní síly	95
	3.5.2 Výpočet návrhových hodnot pevností a průřezových charakteristik	97
	3.5.3 Mezní stav únosnosti	100
	3.5.4 Mezní stav použitelnosti	104
	3.6 Diagonála D2	106
	3.6.1 Poloha v konstrukci, zatížení, výpočet a vnitřní síly	106
	3.6.2 Výpočet návrhových hodnot pevností a průřezových charakteristik	108
	3.6.3 Mezní stav únosnosti	111
	3.6.4 Mezní stav použitelnosti	114
	3.7 Diagonála D3	115
	3.7.1 Poloha v konstrukci, zatížení, výpočet a vnitřní síly	115

3.7.2 Výpočet návrhových hodnot pevností a průřezových charakteristik	117
3.7.3 Mezní stav únosnosti	120
3.7.4 Mezní stav použitelnosti	124
3.8 Diagonála D4	125
3.8.1 Poloha v konstrukci, zatížení, výpočet a vnitřní síly	125
3.8.2 Výpočet návrhových hodnot pevností a průřezových charakteristik	127
3.8.3 Mezní stav únosnosti	129
3.8.4 Mezní stav použitelnosti	132
3.9 Vaznice	134
3.9.1 Poloha v konstrukci, zatížení, výpočet a vnitřní síly	134
3.9.2 Výpočet návrhových hodnot pevností a průřezových charakteristik	136
3.9.3 Mezní stav únosnosti	139
3.9.4 Mezní stav použitelnosti	146
3.10 Krokev	148
3.10.1 Poloha v konstrukci, zatížení, výpočet a vnitřní síly	148
3.10.2 Výpočet návrhových hodnot pevností a průřezových charakteristik	150
3.10.3 Mezní stav únosnosti	153
3.10.4 Mezní stav použitelnosti	159
3.11 Podélník	160
3.11.1 Poloha v konstrukci, zatížení, výpočet a vnitřní síly	160
3.11.2 Výpočet návrhových hodnot pevností a průřezových charakteristik	162
3.11.3 Mezní stav únosnosti	164
3.11.4 Mezní stav použitelnosti	167
3.12 Příčník	169
3.12.1 Poloha v konstrukci, zatížení, výpočet a vnitřní síly	169
3.12.2 Výpočet návrhových hodnot pevností a průřezových charakteristik	171
3.12.3 Mezní stav únosnosti	174
3.12.4 Mezní stav použitelnosti	179
3.13 Táhla	181
3.13.1 Táhlo v úrovni horního pásu	181
3.13.2 Táhlo v úrovni spodního pásu	183
3.14 Rám	185
3.14.1 Posouzení sloupu	185
3.14.2 Posouzení příčle	189
3.14.3 Posouzení příčníku	192
4 Spoje	
4.1 Montážní spoj vaznice	194
4.1.1 Schéma a vnitřní síly	194
4.1.2 Zatížení a geometrie spoje	195
4.1.3 Posouzení spojovacích prostředků	196
4.1.4 Posouzení ocelové desky	198
4.2 Spojení krokve ve vrcholu	201
4.2.1 Schéma a vnitřní síly	201
4.2.2 Zatížení a geometrie spoje	202
4.2.3 Posouzení spojovacích prostředků	203
4.2.4 Posouzení ocelové desky	206
4.3 Připojení podélníku na příčník	209
4.3.1 Návrh spoje v podélníku	209
4.3.1.1 Schéma a vnitřní síly	209
4.3.1.2 Zatížení a geometrie spoje	210

4.3.1.3	Posouzení spojovacích prostředků	211
4.3.1.4	Posouzení ocelové desky	213
4.3.2	Návrh spoje v příčniku	215
4.3.2.1	Schéma a vnitřní síly	215
4.3.2.2	Zatížení a geometrie spoje	216
4.3.2.3	Posouzení spojovacích prostředků	218
4.3.2.4	Posouzení ocelové desky	221
4.4	Připojení příčniku na spodní pás	224
4.4.1	Schéma a vnitřní síly	224
4.4.2	Zatížení a geometrie spoje	225
4.4.3	Posouzení spojovacích prostředků	226
4.4.4	Posouzení ocelové desky	229
4.5	Připojení krokve k hornímu pásu	231
4.5.1	Návrh spoje v krokvi	231
4.5.1.1	Schéma a vnitřní síly	231
4.5.1.2	Zatížení a geometrie spoje	232
4.5.1.3	Posouzení spojovacích prostředků	233
4.5.1.4	Posouzení ocelové desky	235
4.5.2	Návrh spoje v horním páse	238
4.5.2.1	Schéma a vnitřní síly	238
4.5.2.2	Zatížení a geometrie spoje	239
4.5.2.3	Posouzení spojovacích prostředků	241
4.5.2.4	Posouzení ocelové desky	244
4.5.3	Návrh spoje v horním páse s připojeným táhlem	246
4.5.3.1	Schéma a vnitřní síly	246
4.5.3.2	Zatížení a geometrie spoje	247
4.5.3.3	Posouzení spojovacích prostředků	248
4.5.3.4	Posouzení ocelové desky	251
4.6	Montážní spoj spodního pásu	253
4.6.1	Schéma a vnitřní síly	253
4.6.2	Zatížení a geometrie spoje	254
4.6.3	Posouzení spojovacích prostředků	256
4.6.4	Posouzení ocelové desky	259
4.7	Montážní spoj horního pásu	262
4.7.1	Schéma a vnitřní síly	262
4.7.2	Zatížení a geometrie spoje	263
4.7.3	Posouzení spojovacích prostředků	265
4.7.4	Posouzení ocelové desky	268
4.8	Připojení diagonály D1	270
4.8.1	Schéma a vnitřní síly	270
4.8.2	Zatížení a geometrie spoje	271
4.8.3	Posouzení spojovacích prostředků	273
4.8.4	Posouzení ocelové desky	275
4.9	Připojení diagonály D2	278
4.9.1	Návrh spoje v diagonále	278
4.9.1.1	Schéma a vnitřní síly	278
4.9.1.2	Zatížení a geometrie spoje	279
4.9.1.3	Posouzení spojovacích prostředků	281
4.9.1.4	Posouzení ocelové desky	283
4.9.2	Návrh spoje ve spodním páse	286

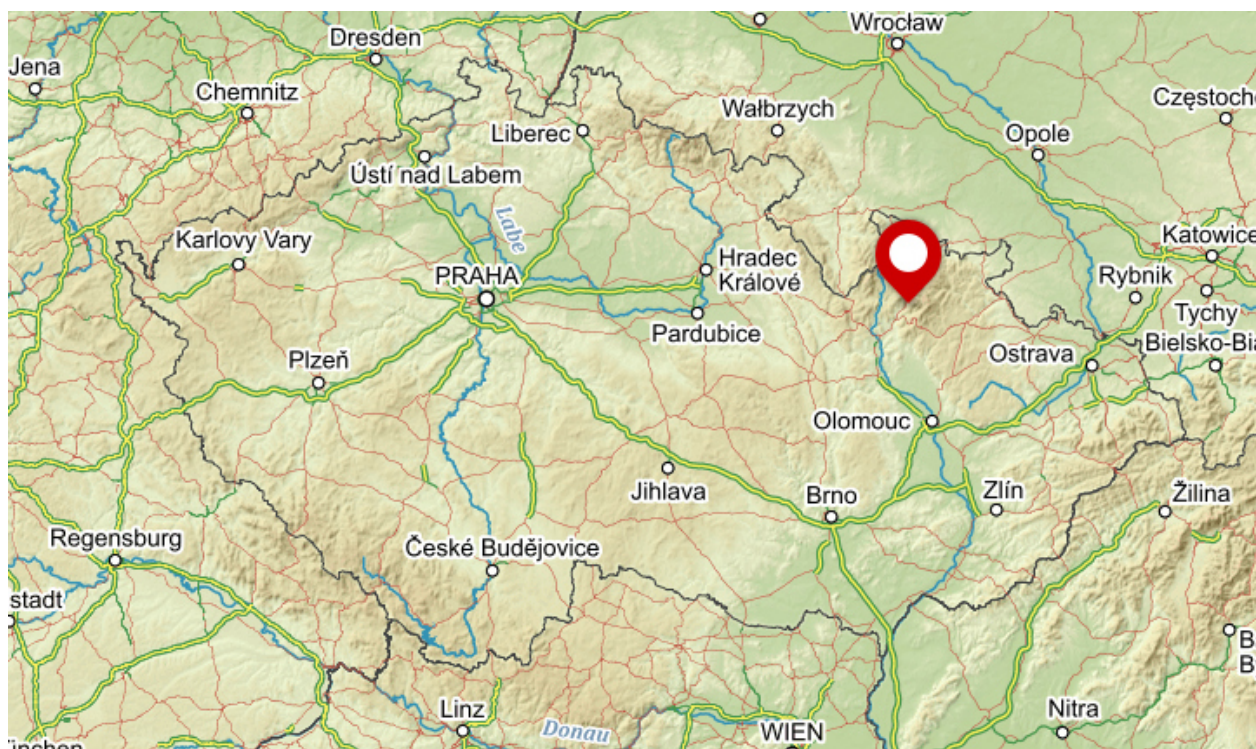
	4.9.2.1 Schéma a vnitřní síly	286
	4.9.2.2 Zatížení a geometrie spoje	287
	4.9.2.3 Posouzení spojovacích prostředků	289
	4.9.2.4 Posouzení ocelové desky	292
	4.10 Připojení diagonály D3	295
	4.10.1 Návrh spoje v diagonále	295
	4.10.1.1 Schéma a vnitřní síly	295
	4.10.1.2 Zatížení a geometrie spoje	296
	4.10.1.3 Posouzení spojovacích prostředků	298
	4.10.1.4 Posouzení ocelové desky	300
	4.10.2 Návrh spoje ve spodním páse	303
	4.10.2.1 Schéma a vnitřní síly	303
	4.10.2.2 Zatížení a geometrie spoje	304
	4.10.2.3 Posouzení spojovacích prostředků	306
	4.10.2.4 Posouzení ocelové desky	309
	4.11 Připojení diagonály D4	311
	4.11.1 Schéma a vnitřní síly	311
	4.11.2 Zatížení a geometrie spoje	312
	4.11.3 Posouzení spojovacích prostředků	314
	4.11.4 Posouzení ocelové desky	316
	4.12 Připojení spodního pásu na rám	319
	4.12.1 Schéma a vnitřní síly	319
	4.12.2 Zatížení a geometrie spoje	320
	4.12.3 Posouzení spojovacích prostředků	322
	4.12.4 Posouzení ocelové desky	324
	5 Dynamika	327
	6 Uložení lávky	329
D	TECHNICKÁ ZPRÁVA	332
	1 Základní charakteristiky navržené konstrukce	332
	2 Požadavky na materiál a spojovací prostředky	336
	3 Montáž	337
	4 Ochrana	337
E	ZÁVĚR A POUŽITÉ ZDROJE	339
SAMOSTATNÉ PŘÍLOHY		
F	ORIENTAČNÍ VÝKAZ SPOTŘEBY MATERIÁLU	
G	VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE	

A ÚVOD

Cílem diplomové práce je navrhnout a posoudit lávku pro pěší v obci Loučná nad Desnou.

A.1 Seznámení s oblastí navrhované lávky

Uvažovaná lávka se bude nacházet v zámeckém parku v obci Loučná nad Desnou. Tato obec se „nachází v okrese Šumperk, kraj Olomoucký, necelých 15 km severovýchodně od Šumperka. Žije zde přes 1,5 tisíce obyvatel (v roce 2006 jich bylo 1903).“ [1] Loučná nad Desnou. *Wikipedia: the free encyclopedia*. [online]. 2001- [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Loučná_nad_Desnou



[2] Loučná nad Desnou. *Mapy.cz*. [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=15.0200258&y=50.2353042&z=7&source=muni&id=401>

Na turistické ceduli u vstupu do parku se lze ve zkratce dočíst, že zámek dříve patřil šlechticům, v roce 1945 byl konfiskován státem a až do rekonstrukce v roce 1992 za podpory státu a potomků šlechticů, chátral. Rekonstrukce se dočkala i severní část zámeckého parku v roce 2010. Zde je park velice klidným, odpočinkovým místem s nepřeberným množstvím druhů stromů, mezi kterými jsou mimo jiné i zástupci z oblasti Kanady.

A.2 Důvody výstavby

Lávka se bude nacházet v jižní části parku, kde souběžně proběhne rekonstrukce parku a která se od severní části odlišuje volnějším charakterem. Lze zde nalézt například fotbalové hřiště, je zde potenciál na cyklostezku a proto lze do lokality navrhnout i modernější typ lávky.

Lávka přinese obci otevřenější park a ten se stane místem pro sport a odpočinek.

A.3 Předešlé konstrukce

Na zamýšleném místě stavby se nacházejí pozůstatky základů ocelové lávky, která byla dle zastupitelů obce kolem roku 2000 demontována. Lávka dříve spojovala břehy řeky Desné a byl tak možný pohyb z/do parku ze všech směrů, což je nyní neumožněno. Stará konstrukce byla pravděpodobně již neúnosná.

A.4 Situace

Umístění lávky je přibližně zaznamenáno na následujícím výřezu z mapy. V situaci je patrné přemostění přes řeku, čímž je nyní roura. Lávka tuto síť nenaruší a postaví se vedle v dostatečně bezpečné vzdálenosti.

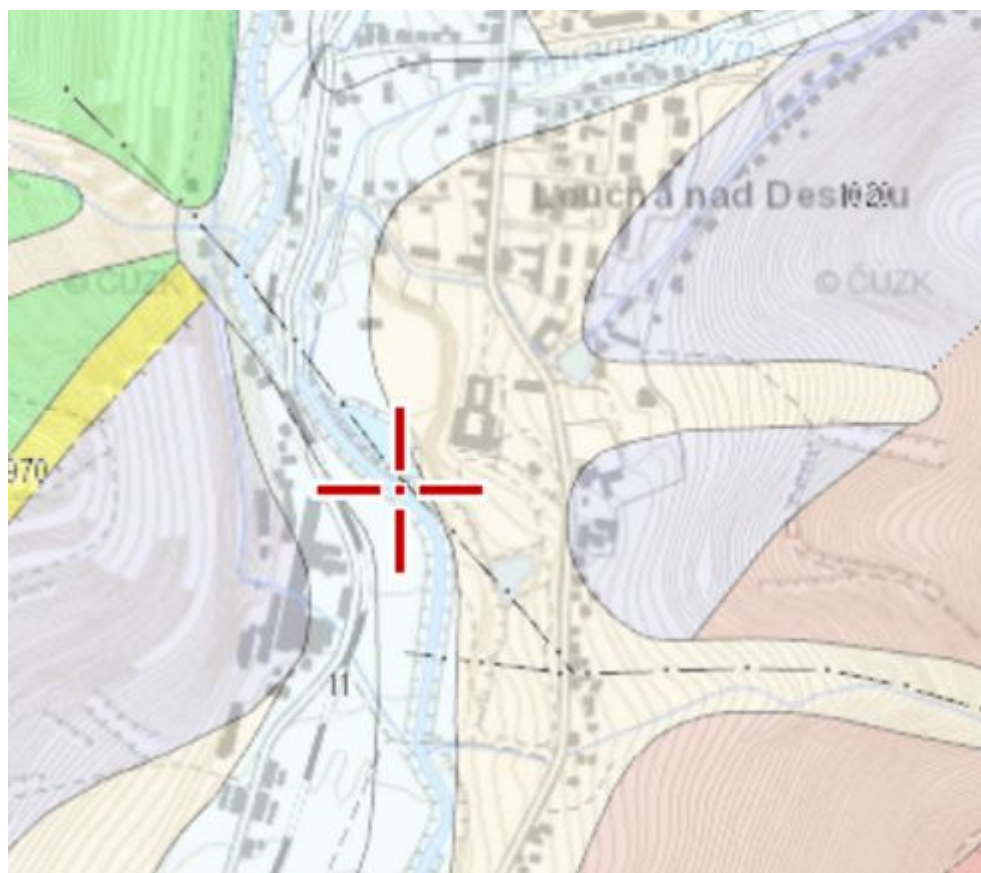


[3] Loučná nad Desnou. *Mapy.cz*. [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=17.0894466&y=50.0687931&z=18&base=ophoto&source=muni&id=401>

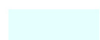
Obec leží v nadmořské výšce 450 m. [1]

A.5 Podloží

Podloží je tvořeno nezpevněnými sedimenty a jejich zastoupení tvoří hlína, písek a štěrk. Za stavu povodní dochází k jejich zvýšenému naplavení.



KVARTÉR



nivní sediment [ID: 6]

Eratém: **kenozoikum**, Útvar: **kvartér**, Oddělení: **holocén**, Horniny: **hlína, písek, štěrk**, Typ hornin: **sediment nezpevněný**, Zrnitost: **hlína, písek, štěrk**, Poznámka: **inundovaný za vyšších vodních stavů**, Soustava: **Český masiv - pokryvné útvary a postvariské magmatity**, Oblast: **kvartér**
[Zobrazit tuto jednotku samostatně]

(kříž ukazuje právě na pruh v blízkém okolí řeky Desné označeným číslem 6, které se do výřezu nevešlo)



kamenitý až hlinito-kamenitý sediment [ID: 13]

Eratém: **kenozoikum**, Útvar: **kvartér**, Horniny: **kamenitý až hlinito-kamenitý sediment**, Typ hornin: **sediment nezpevněný**, Mineralogické složení: **pestré**, Zrnitost: **kamenitá až hlinito-kamenitá**, Barva: **různá**, Poznámka: **místy bloky nebo eolická příměs**, Soustava: **Český masiv - pokryvné útvary a postvariské magmatity**, Oblast: **kvartér**

[4] Geologická mapa 1:50 000. *Česká geologická služba*. [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show_map.php?mapa=g50&y=553477&x=1067813&s=1

A.6 Stoletá voda

Při návrhu lávky pro pěší a cyklisty se provede opatření v podobě rozšíření koryta řeky pro rychlejší odtok vody. Průtoky n-leté vody jsou patrné z následujícího Evidenčního listu hlásného profilu č. 302, který je v obci Loučná nad Desnou a kterým protéká stejné množství vody jako v místě uvažované lávky.

Evidenční list hlásného profilu č.302				Stanice kategorie : B	
Tok:	Desná	Stanice:	Rejhotice		
Kraj:	Olomoucký kraj	ORP:	Šumperk	Obec:	Loučná nad Desnou
Provozovatel stanice: Centrum automatického sběru dat:					
Staničení:	29,80 [km]	Číslo hydrologického pořadí:	4-10-01-065		
Plocha povodí:	65,40 [km ²]	Zeměpisné souřadnice:	170600 v.d. 500542 s.š.		
Nula vodočtu:	[m.n.m.]	Procento plochy povodí toku:	20,0		
Stupně povodňové aktivity:	[cm]	[m ³ .s ⁻¹]	Platnost SPA pro úsek toku:		
Bdéllost	65	13	soutok s Mertou - Kouty		
Pohotovost	90	24	Kritické místo:		
Ohrožení	105	32			
Průměrný roční stav:	24 [cm]	N-leté průtoky:	Q ₁	Q ₅	Q ₁₀ Q ₅₀ Q ₁₀₀
Průměrný roční průtok:	1,61 [m ³ .s ⁻¹]	[m ³ .s ⁻¹]	12,3	29,6	39,9 70,5 86,9
Odesílatel zpráv:	Četnost hlášení SPA:	I.	2 x denně		
		II.	4 x denně		
		III.	3hodinové hlášení		
Odesílatel podá zprávu:	Spojení na adresáta:	Příjemce dále vyrozumí:			
Nejvyšší zaznamenané vodní stavy:		Mapa v měřítku 1:50 000 :			
[cm]	V. - XI.	[cm]	XII. - IV.		
Popis umístění profilu :					
ultrazvuková sonda na mostě bez ev.č.					

302 [Generováno : 07.10.2016]

[5] Evidenční list hlásného profilu. *Hlásná a předpovědní povodňová služba*. [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=307332

B VÝBĚR KONSTRUKCE

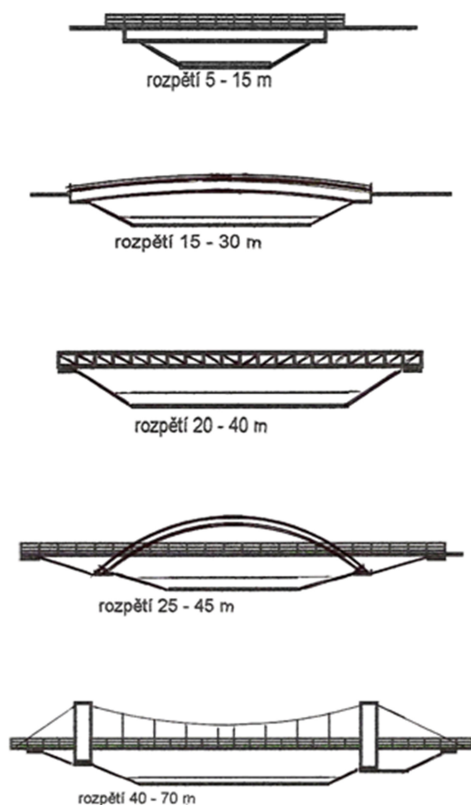
B.1 Výběr převládajícího materiálu konstrukce

Lávka pro pěší a cyklisty bude provedena jako dřevěná konstrukce zejména z estetických důvodů. „Mezi nesporné výhody dřevěných konstrukcí patří nízké výrobní, přepravní a montážní náklady a také relativně nízké náklady na jejich zakládání, podpěry a opěry. K výčtu pozitivních vlastností dřevěných konstrukcí můžeme přidat také nízkou vlastní hmotnost a jednoduchou a rychlou montáž.“ [6] Návrh dřevěné lávky. *Konstrukce*. [online]. 27.11.2014 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/navrh-drevene-lavky/>

Spoje konstrukčních částí budou ocelové.

B.2 Návrh variant a výběr

Rozpětí lávky je stanovené na 30 m a s tím se pojí i vhodný výběr konstrukčního systému. Jako velice jednoduchý pomocník je použit následující obrázek jednopolových mostů.

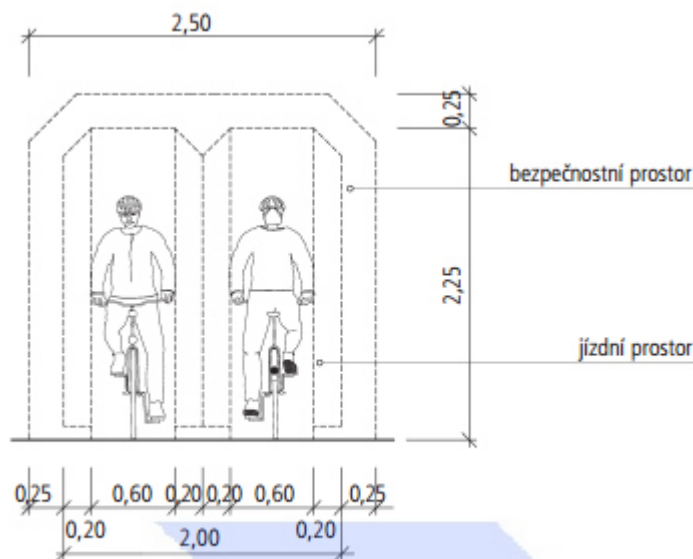


[7] Stavby s vůní dřeva. *CB s.r.o.*. [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.cb-cz.eu/konstrukce.html>

Prostý nosník je na rozpětí 30 m krátký a složitější konstrukce jako oblouk s mezilehlou mostovkou tvořenou nosníkem či konstrukce visutého mostu jsou vhodné spíše pro větší rozpětí.

Pro volbu konstrukčního systému je dobré vzít do úvahy klimatická zatížení. V Loučné nad Desnou je velké zatížení sněhem a uvažují tak také varianty kryté, které usnadní zimní údržbu.

Šířka lávky bude v sobě zahrnovat volný prostor komunikace pro cyklisty při obousměrném provozu, který je 2.5m dle normy TP 179.



Obr. 6: Volný prostor komunikace pro cyklisty – obousměrný provoz

[8] Navrhování komunikací pro cyklisty: TP [technické podmínky] 179. Mariánské Lázně: Koura, 2006. ISBN 80-902527-3-7.

Vozidlo záchranné služby se uvažovat nebude, protože kolem upravené části parku vede hlavní silnice z Šumperku do Jeseníku a v případě nutné pomoci toto vozidlo vjede do parku hlavní branou ze silnice.

Do úvahy jsem vzal 4 konstrukční varianty.

3.1 Varianta 1 – krytá lávka jako příhradová konstrukce z rostlého/lepeného lamelového dřeva

Příklad konstrukce je lávka přes řeku Desnou ve Vikýřovicích. „Konstrukci lávky tvoří dva příhradové nosníky výšky 3.5m. Pasy, diagonály a tlačené svislice jsou z lepeného lamelového dřeva, tažené svislice jsou z oceli. Lávka byla vyrobena za 14 dní a smontována za 6 dní.“ [[9] KUKLÍK, Petr. *Dřevěné konstrukce*. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2005. Technická knižnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 80-86769-72-0.



[10] Vikýřovice – lávka. *Turistika.cz*. [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.turistika.cz/fotogalerie/86091/vikyrovce-lavka?layout=phone>

Dalším příkladem je lávka v Německu.



Tento typ konstrukce je esteticky vhodný, jednoduchý na montáž a navíc je krytý.

[11] Dřevo a mostní konstrukce. *SILNICE ŽELEZNICE*. [online]. 9.3.2009 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/drevo-a-mostni-konstrukce/>

3.2 Varianta 2 –příhradová konstrukce proměnné výšky

Pěkným příkladem této varianty je lávka přes řeku Malši v Českých Budějovicích. „Délka je 33.6 m a šířka je 5.3 m. Konstrukci tvoří dva příhradové nosníky z lepeného lamelového dřeva, proměnné výšky – max. 1.9 m. Lávka byla vyrobena za 4 týdny (osazena za 3 hodiny) a montáž mostovky trvala 5 dní.“ [9] KUKLÍK, Petr. *Dřevěné konstrukce*. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2005. Technická knižnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 80-86769-72-0.

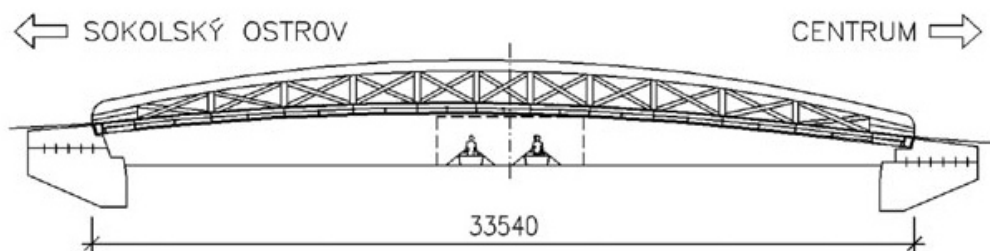


× *Pohled na dřevěný lepený příhradový nosník obloukového tvaru*

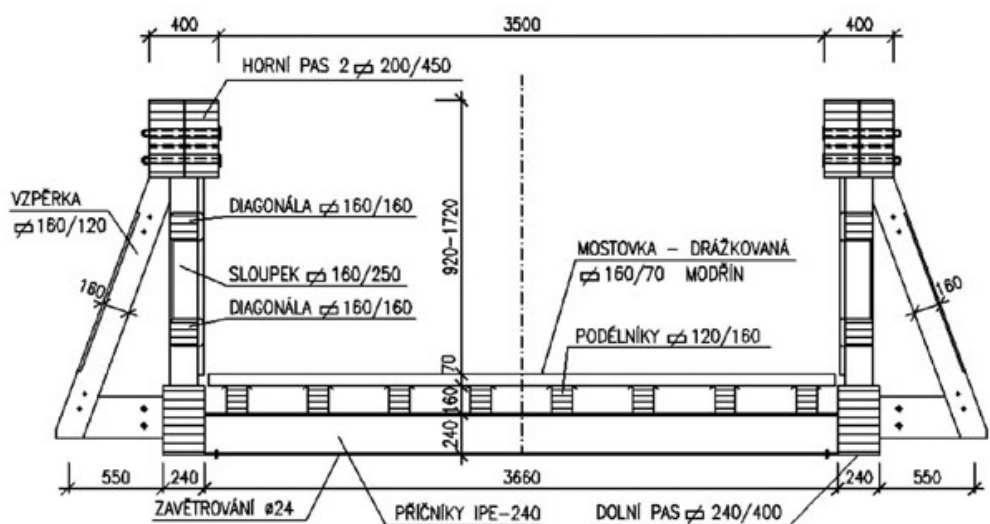


× *Detailní pohled na dřevěný příhradový nosník lávky*

[12] Dřevěná lávka přes slepé rameno Malše. *Časopis Stavebnictví*. [online]. © 2007- [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: http://www.casopisstavebnictvi.cz/drevena-lavka-pres-slepe-rameno-malse_A444_I10_07



× Podélný řez lávkou



× Příčný řez lávkou

[12] Dřevěná lávka přes slepé rameno Malše. *Časopis Stavebnictví*. [online]. © 2007- [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: http://www.casopisstavebnictvi.cz/drevena-lavka-pres-slepe-rameno-malse_A444_I10_07

Varianta je atraktivní, ale s ohledem na klimatická zatížení se upřednostní některá varianta zastřešená.

3.3 Varianta 3 – oblouk plnostěnný

Jedná se o jednoduchou konstrukci, ale její nevýhodou je absence střechy.



[13] Dačická nová lávka. *Dačicko.cz*. [online]. 22.07.2008 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://dacicko.blog.cz/0807/dacicka-nova-lavka>

3.4 Varianta 4 – oblouk s dolní mostovkou zavěšenou na lanech

Velmi zajímavá varianta, ke které je možné vcelku jednoduchým způsobem připojit střechu.





[14] Pedestrian Timber Bridges. *Western Wood Structures*. [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.westernwoodstructures.com/index.php/timber-bridges/pedestrian-bridges/>



[15] Hasslacher Norica Timber. *ArchiExpo*. [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.archiexpo.com/prod/hasslacher-norica-timber/product-59471-909613.html>

Z výše uvedených variant jsem se rozhodl pro variantu 1 – krytou lávku jako příhradovou konstrukci z rostlého/lepeného lamelového dřeva.

Hlavním důvodem je zastřešení, kdy se do úvahy dostala i varianta 4 – oblouk s dolní mostovkou zavěšenou na lanech, ale tato sice esteticky zajímavá varianta je podle orientačního obrázku pro výběr vhodná spíše pro větší rozpětí.

zdroje:

[1] Loučná nad Desnou. *Wikipedia: the free encyclopedia*. [online]. 2001- [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Loučná_nad_Desnou

[2] Loučná nad Desnou. *Mapy.cz*. [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=15.0200258&y=50.2353042&z=7&source=muni&id=401>

[3] Loučná nad Desnou. *Mapy.cz*. [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=17.0894466&y=50.0687931&z=18&base=ophoto&source=muni&id=401>

[4] Geologická mapa 1:50 000. *Česká geologická služba*. [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show_map.php?mapa=g50&y=553477&x=1067813&s=1

[5] Evidenční list hlásného profilu. *Hlásná a předpovědní povodňová služba*. [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=307332

[6] Návrh dřevěné lávky. *Konstrukce*. [online]. 27.11.2014 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/navrh-drevene-lavky/>

[7] Stavby s vůní dřeva. *CB s.r.o.*. [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.cb-cz.eu/konstrukce.html>

[8] Navrhování komunikací pro cyklisty: TP [technické podmínky] 179. Mariánské Lázně: Koura, 2006. ISBN 80-902527-3-7.

[9] KUKLÍK, Petr. *Dřevěné konstrukce*. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2005. Technická knižnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 80-86769-72-0.

[10] Vikýřovice – lávka. *Turistika.cz*. [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.turistika.cz/fotogalerie/86091/vikyrovice-lavka?layout=phone>

[11] Dřevo a mostní konstrukce. *SILNICE ŽELEZNICE*. [online]. 9.3.2009 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/drevo-a-mostni-konstrukce/>

[12] Dřevěná lávka přes slepé rameno Malše. *Časopis Stavebnictví*. [online]. © 2007- [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: http://www.casopisstavebnictvi.cz/drevena-lavka-pres-slepe-rameno-malse_A444_I10_07

[13] Dačická nová lávka. *Dačicko.cz*. [online]. 22.07.2008 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://dacicko.blog.cz/0807/dacicka-nova-lavka>

[14] Pedestrian Timber Bridges. *Western Wood Structures*. [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.westernwoodstructures.com/index.php/timber-bridges/pedestrian-bridges/>

[15] Hasslacher Norica Timber. *ArchiExpo*. [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.archiexpo.com/prod/hasslacher-norica-timber/product-59471-909613.html>

C STATICKÝ VÝPOČET

Aby práce byla přehledná, u výpočtů je uvedeno podle které normy byl proveden postup, ale necituje se každá rovnice nebo definice, protože by to vedlo k velké nepřehlednosti.

Výpočet je proveden přesně v programu Excel a dosazované hodnoty ve vzorcích jsou vždy zaokrouhlené.

Nejprve jsou představeny zatížení, kterým musí lávka odolat. Poté následuje statický posudek hlavních konstrukčních částí a nakonec posudek spojů.

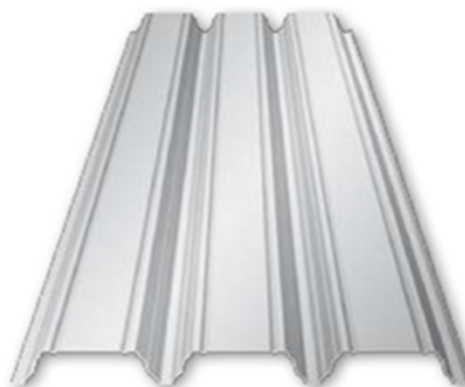
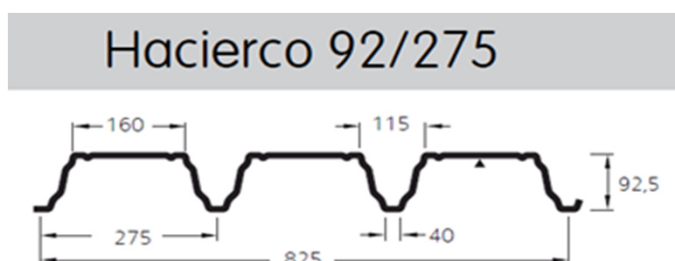
1 Zatížení na konstrukci

1.1 Stálé zatížení

1. Střešní plášť

Pro střešní plášť se uvažovala varianta z asfaltového šindelu a varianta z trapézového plechu. Ačkoliv je asfaltový šindel lehký a snadný k pokládce, má dobrou odolnost a cenově je příznivý, má také nevýhody v podobě nutnosti pokrytí střechy dřevem nebo OSB deskami, na které se následně pásy umísťují a pokládka by měla probíhat za určitých teplot. Pro jednoduchost provedení je střešní plášť tvořen trapézovým plechem.

Trapézový plech



zdroj:

http://svf.uniza.sk/kskm/web/pomocky/bc/kk2/Trapezove_profily.pdf

	ocel	tloušťka [mm]	hmotnost [kg/m ²]	tíha [kN/m ²]
Hacierco 92/275	S320	1.25	14.37	0.1437

2. Pochozí vrstva mostovky

Je tvořena z odolnějšího dubového dřeva.

	třída	tloušťka [mm]	hmotnost [kg/m ³]	hmotnost [kg/m ²]	tíha [kN/m ²]
podlahová prkna	D30	40	640	25.6	0.256

pozn. Prkno je druh řeziva s tloušťkou $t \leq 40$ mm a šířkou $b \geq 80$ mm. Tloušťka $t > 40$ mm je charakteristická pro fošny.

3. Zábradlí

Je svařené z U-profilů a vyplněné svařovanou sítí. Výška je 1 300 mm kvůli cyklistům.

Síť je hustá, aby lámala vítr a zamezovala například navátí sněhu.

Hmotnost se uvažuje jako 0.25 kN/m.

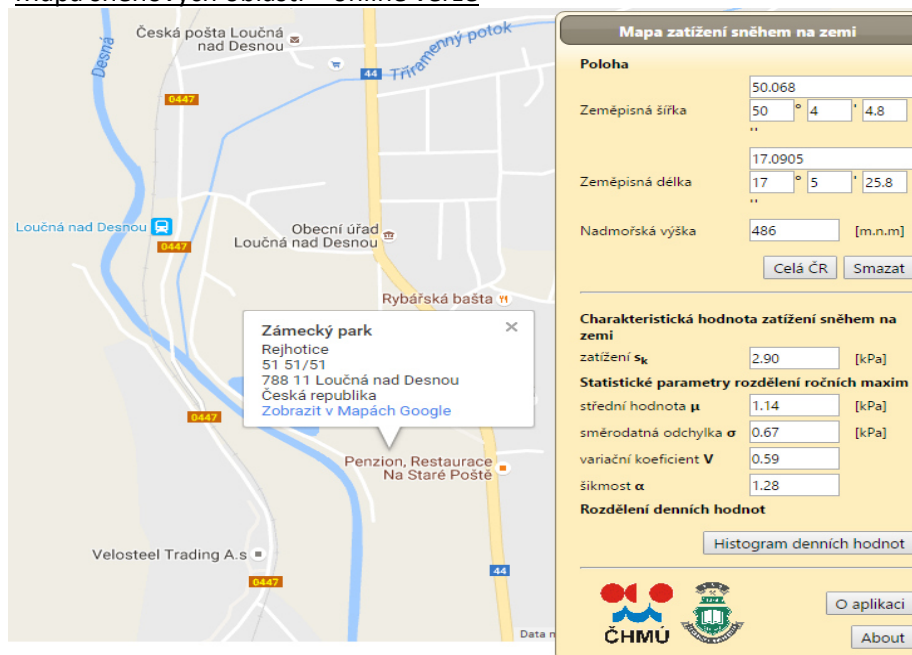
1.2 Proměnné zatížení

1.2.1 Sníh

Podle normy ČSN EN 1991-1-3 - Zatížení sněhem

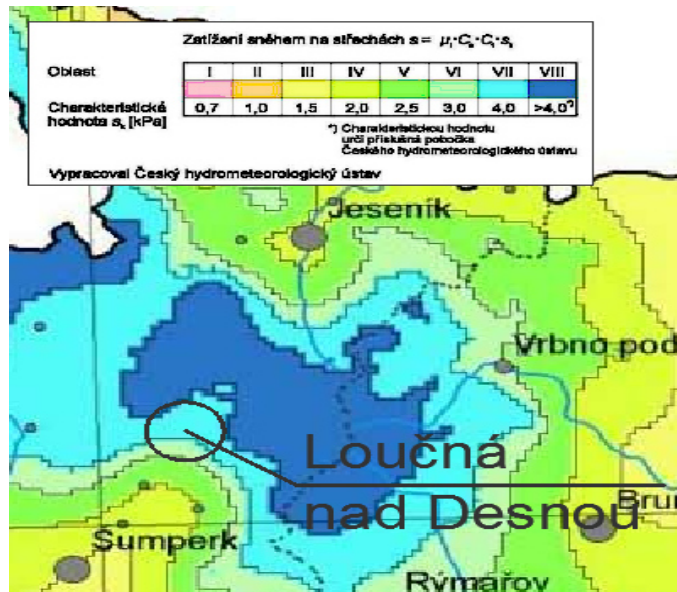
Pro stanovení charakteristické hodnoty zatížení sněhem s_k jsem použil papírovou podobu mapy sněhových oblastí a její online verzi. Online verze je přesnější a zatížení sněhem pro oblast lávky je nižší. Dále uvedené obrázky ilustrují srovnání.

Mapa sněhových oblastí – online verze



zdroj: <http://www.snehovamapa.cz/>

Mapa sněhových oblastí – detail papírové verze z normy ČSN EN 1991-1-3

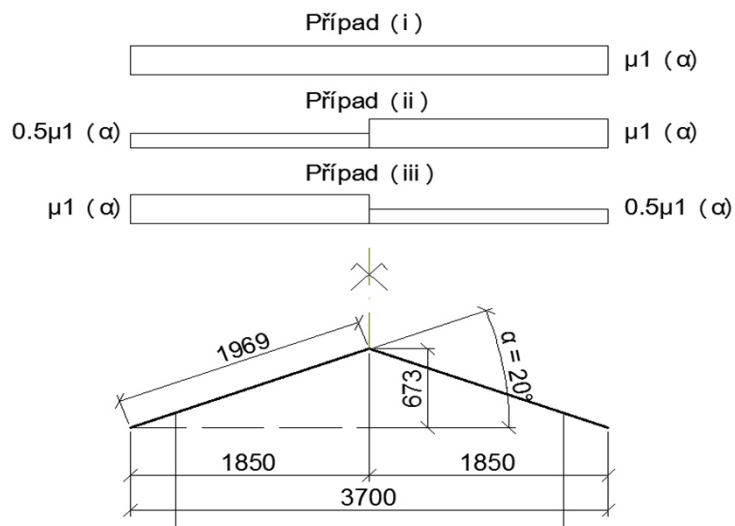


zdroj: <http://www.snihnastrese.cz/img/mapa-snehove-oblasti-cr-velka-nova.jpg>

Přibližný odhad podle papírové mapy vypovídá o Oblasti VII, $s_k = 4,0$ kPa. Papírová mapa je nepřesná, protože nerozlišuje údolí a kopce v naší oblasti a tedy budu dále uvažovat s hodnotou $s_k = 2.90$ kPa.

Zatížení sněhem působí svisle a je vztaženo k půdorysné ploše střechy.

tvárový součinitel zatížení sněhem pro sedlovou střechu



$$\mu_1 = 0.8 \quad (0^\circ < \alpha = 20^\circ < 30^\circ)$$

součinitel expozice

$C_e = 1.0$ (normální typ krajiny)

tepelný součinitel

$C_t = 1.0$ (střecha je venkovní, nedochází k žádnému prostupu tepla a následnému tání sněhu)

zatížení sněhem na střechě pro trvalé návrhové situace

$$s = \mu_1 * C_e * C_t * s_k$$

$$s = 0.8 * 1.0 * 1.0 * 2.9 = 2.32 \text{ kN/m}^2$$

Sníh lze podle normy počítat pro válcové střechy, ale tvarový součinitel vychází pro lávku malý. Tento postup navíc neuvažuje s příčným sklonem střechy 20° .

h 1 m (rozdíl výšek na počátku a uprostřed střechy)

b 30 m (délka zaoblené střechy)

h/b 1/30

$$\mu_3 = 0.2 + 10 * h/b = 0.2 + 10 * 1/30 = 0.53$$

hodnoty kombinačních součinitelů

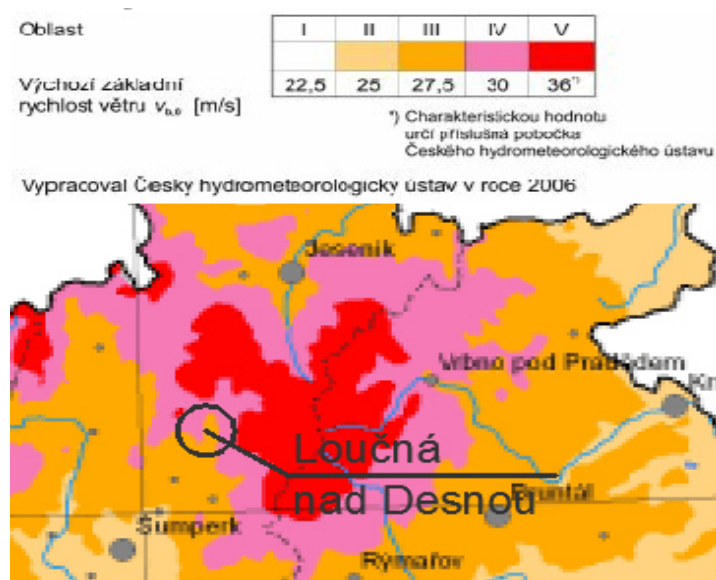
ψ_0 0.5

ψ_2 0

1.2.2 Vítr

Podle normy ČSN EN 1991-1-4 - Zatížení větrem

Mapa větrných oblastí – detail z normy ČSN EN 1991-1-4



oblast III – stanovení přesné polohy v programu AutoCAD

$$v_{b,0} = 27.5 \text{ m/s}$$

$v_{b,0}$ charakteristická desetiminutová střední rychlost větru, nezávislá na směru větru a ročním období ve výšce 10 m nad zemí v terénu bez překážek s nízkou vegetací jako je tráva a izolovanými překážkami, vzdálenými od sebe nejméně 20násobek výšky překážek

Výpočet maximálního dynamického tlaku

základní rychlost větru

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0} = 1.00 * 1.00 * 27.5 = 27.5 \text{ m/s}$$

součinitel směru větru

$$c_{dir} = 1.00$$

součinitel ročního období

$$c_{season} = 1.00$$

minimální výška

$$z_{min} = 5 \text{ m} \quad (\text{kategorie terénu III - vesnice})$$

maximální výška

$$z_{max} = 200 \text{ m}$$

parametr drsnosti terénu

$z_0 = 0.3 \text{ m}$ (kategorie terénu III - vesnice)

parametr drsnosti terénu pro kategorii II

$z_{0,II} = 0.05 \text{ m}$

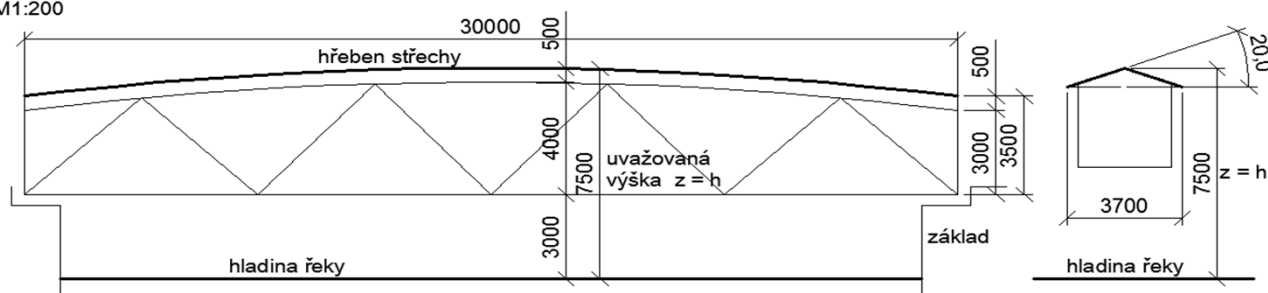
součinitel terénu

$k_r = 0.19 * (z_0/z_{0,II})^{0.07} = 0.19 * (0.3/0.05)^{0.07} = 0.22$

uvažovaná výška

$z = 7.5 \text{ m}$

M1:200



součinitel drsnosti terénu

$c_r(z) = k_r * \ln(z/z_0) = 0.22 * \ln(7.5/0.3) = 0.69$

součinitel orografie

$c_0(z) = 1.00$

střední rychlost větru ve výšce z nad terénem

$v_m(z) = c_r(z) * c_0(z) * v_b = 0.69 * 1.00 * 27.5 = 19.07 \text{ m/s}$

součinitel turbulence

$k_t = 1.00$

intenzita turbulence

$I_v(z) = k_t / (c_0(z) * \ln(z/z_0)) = 1.00 / (1.00 * \ln(7.5/0.3)) = 0.311$

měrná hmotnost vzduchu

$\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$

maximální dynamický tlak

$q_p(z) = [1 + 7 * I_v(z)] * 0.5 * \rho * v_m^2(z) = [1 + 7 * 0.311] * 0.5 * 1.25 * 19.07^2 = 0.721 \text{ kN/m}^2$

Zatížení sedlové střechy

sklon střechy

$$\alpha = 20^\circ$$

délka střechy

$$L = 30 \text{ m}$$

šířka střechy

$$B = 3.7 \text{ m}$$

1. příčný vítr

$$\vartheta = 0^\circ$$

$b = 30 \text{ m}$ rozměr kolmý na směr větru

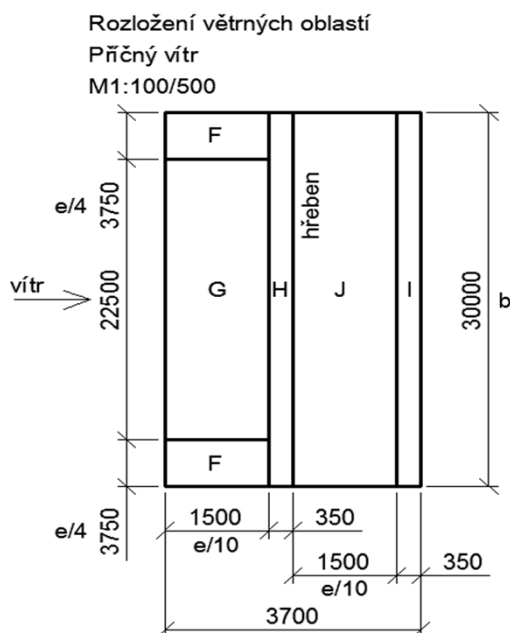
$h = 7.5 \text{ m}$ výška střechy nad hladinou vody

$$e = \min(b, 2h) = \min(30, 2 \cdot 7.5) = 15 \text{ m}$$

$$e/10 = 1.5 \text{ m}$$

$$e/4 = 3.75 \text{ m}$$

Pro příčný vítr se uvažují 4 zatěžovací stavy.
Kombinují se hodnoty tlaků a sání na každé straně.



Oblast	F		G		H		I		J	
A [m ²]	5.63		33.75		10.50		10.50		45.00	
sklon [°]	cpe,10	cpe,1	cpe,10	cpe,1	cpe,10	cpe,1	cpe,10	cpe,1	cpe,10	cpe,1
15	-0.9	-2.0	-0.8	-1.5	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-1.0	-1.5
	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
30	-0.5	-1.5	-0.5	-1.5	-0.2	-0.2	-0.4	-0.4	-0.5	-0.5
	0.7	0.7	0.7	0.7	0.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
20	-0.77	-1.83	-0.70	-1.50	-0.27	-0.27	-0.40	-0.40	-0.83	-1.17
	0.37	0.37	0.37	0.37	0.27	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00
c_{pe}	-1.033		-0.700		-0.267		-0.400		-0.833	
	0.37		0.37		0.27		0.00		0.00	
w_e [kN/m ²]	-0.75		-0.50		-0.19		-0.29		-0.60	
	0.26		0.26		0.19		0.00		0.00	

interpolace na úhel 20°

$$w_e = c_{pe} \cdot q_p(z)$$

w_e tlak větru působící na vnější povrchy

z_e referenční výška pro vnější tlak

c_{pe} součinitel vnějšího tlaku

2. podélný vítr

$$\vartheta = 90^\circ$$

$$b = 3.7 \text{ m}$$

$$h = 7.5 \text{ m}$$

$$e = \min(b, 2h) = \min(3.7, 2 \cdot 7.5) = 3.7 \text{ m}$$

$$e/10 = 0.37 \text{ m}$$

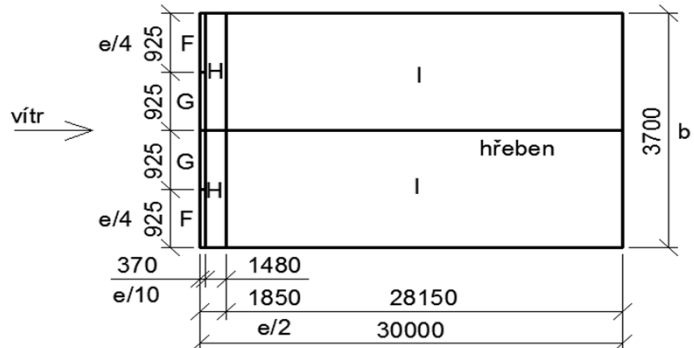
$$e/4 = 0.925 \text{ m}$$

$$e/2 = 1.85 \text{ m}$$

Rozložení větrných oblastí

Podélný vítr

M1:500/100



Pro podélný vítr se uvažuje 1 zatěžovací stav.

Oblast	F		G		H		I	
A [m ²]	0.34		0.34		2.74		104.16	
sklon [°]	c _{pe,10}	c _{pe,1}	c _{pe,10}	c _{pe,1}	c _{pe,10}	c _{pe,1}	c _{pe,10}	c _{pe,1}
15	-1.3	-2.0	-1.3	-2.0	-0.6	-1.2	-0.5	-0.5
30	-1.1	-1.5	-1.4	-2.0	-0.8	-1.2	-0.5	-0.5
20	-1.23	-1.83	-1.27	-2.00	-0.53	-1.20	-0.50	-0.50
c _{pe}	-1.833		-2.000		-0.908		-0.500	
w _e [kN/m ²]	-1.32		-1.44		-0.66		-0.36	

interpolace na úhel 20°

$$w_e = c_{pe} \cdot q_p(z)$$

3. Zatížení na přístřešek

6 zatěžovacích stavů, popis hodnot viz Výpočet maximálního dynamického tlaku

výpočet maximálního dynamického tlaku

$$z_e = h = 6.8 \text{ m}$$

$$k_r = 0.19 \cdot (z_0/z_{0,II})^{0.07} = 0.19 \cdot (0.3/0.05)^{0.07} = 0.22$$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0) = 0.22 \cdot \ln(6.8/0.3) = 0.67$$

$$c_0(z) = 1.00$$

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0.67 \cdot 1.00 \cdot 27.5 = 18.49 \text{ m/s}$$

$$I_v(z) = k_i / (c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)) = 1.00 / (1.00 \cdot \ln(6.8/0.3)) = 0.32$$

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot 0.5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = [1 + 7 \cdot 0.32] \cdot 0.5 \cdot 1.25 \cdot 18.49^2 = 0.693 \text{ kN/m}^2$$

plocha překážek

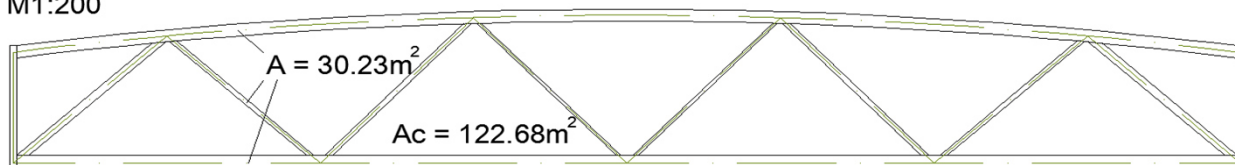
$$A = 30.23 \text{ m}^2$$



celková plocha

$$A_c = 122.68 \text{ m}^2$$

Součinitel plnosti
M1:200



součinitel plnosti

$$\varphi = A / A_c = 30.23 / 122.68 = 0.25$$

$$b = 30 \text{ m}$$

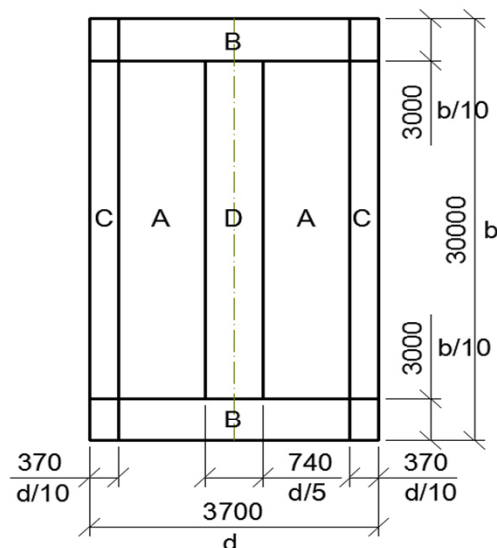
$$b/10 = 3 \text{ m}$$

$$d = 3.7 \text{ m}$$

$$d/5 = 0.74 \text{ m}$$

$$d/10 = 0.37 \text{ m}$$

Rozložení větrných oblastí
M1:100/500



sklon [°]	φ	c_f	$c_{p,net}$			
			Oblast A	Oblast B	Oblast C	Oblast D
20	max	0.6	1.1	1.9	1.5	0.4
	min ($\varphi=0$)	-0.9	-1.2	-1.8	-1.4	-2
	min ($\varphi=1$)	-1.3	-1.4	-2.2	-1.6	-2.1
	min ($\varphi=0.25$)	-1	-1.25	-1.9	-1.45	-2.025
		w_{net} [kN/m²]	0.76	1.32	1.04	0.28
			-0.83	-1.25	-0.97	-1.39

pozn. Kladné hodnoty označují zatížení větrem směrem domů a záporné nahoru

4. Tření

součinitel tření

$c_{fr} = 0.04$ trapézový plech

$d = 30 \text{ m}$

$b = 3.7 \text{ m}$

$h = 7.5 \text{ m}$

$$\min(2b, 4h) = \min(2 \cdot 3.7, 4 \cdot 7.5) = 7.4 \text{ m}$$

referenční plocha

$$A_{fr} = 22.6 \cdot 3.7 = 83.62 \text{ m}^2$$

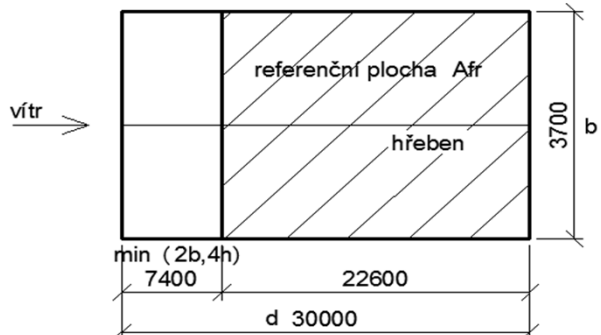
třecí síla

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr} = 0.04 \cdot 0.693 \cdot 83.62 = 2.41 \text{ kN}$$

Rozložení větrných oblastí

Podélný vítr

M1:500/100



5. Nosné prvky s obdélníkovými průřezy

zatížení od větru se vypočítá pro jednotlivé uvažované prvky zvlášť a nebude se počítat na celou příhradovou konstrukci najednou

Příklad výpočtu pro spodní pás hlavního nosníku:

rozměr ve směru větru

$d = 220 \text{ mm}$

rozměr kolmý na směr větru

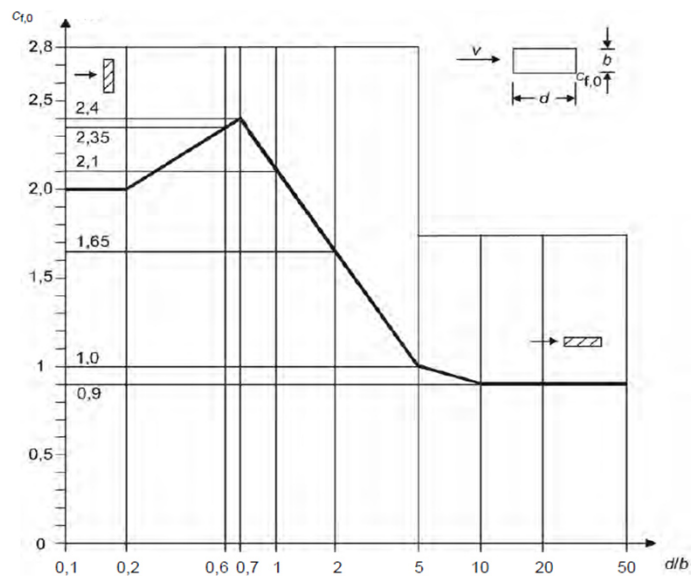
$b = 440 \text{ mm}$

součinitel síly $c_{f,0}$

$$d/b = 220 / 440 = 0.5$$

$$c_{f,0} = 2.26$$

hodnota je odečtená z grafu
na obrázku 7.23



Obrázek 7.23 – Součinitel síly $c_{f,0}$ pro obdélníkové průřezy s ostrými rohy bez vlivu proudění kolem volných konců

obrázek z normy

redukční součinitel pro čtvercové průřezy se zaoblenými rohy

$$\psi_r = 1.0$$

součinitel koncového efektu pro prvky s volnými konci

$$\psi_\lambda = 1.0$$

součinitel síly pro nosné prvky s obdélníkovým průřezem a pro vítr vanoucí kolmo k čelní ploše

$$c_f = c_{f,0} * \psi_r * \psi_\lambda = 2.26 * 1.0 * 1.0 = 2.26$$

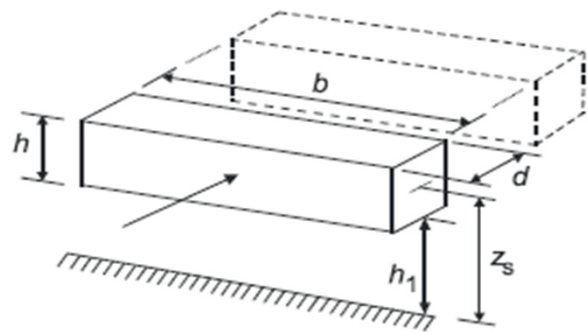
součinitel konstrukce $c_s c_d$ - podrobný postup

Stanovení podle přílohy B

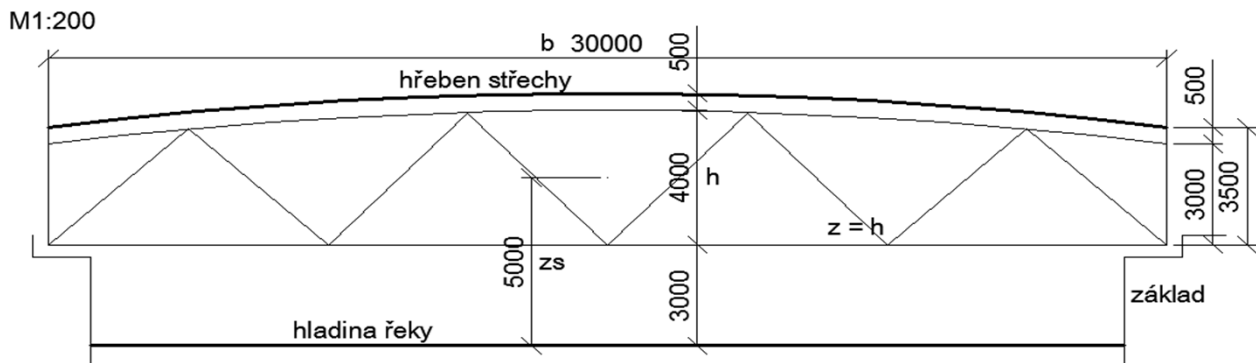
$$C_s C_d = \frac{1 + 2 * k_p * I_v(z_s) * \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 * I_v(z_s)}$$

Příhradová konstrukce lávky je vodorovně orientovaná konstrukce a lze tedy použít tento postup.

b) vodorovně orientované stavební konstrukce, jako jsou nosníky apod.



obrázek z normy



$$z_s = 5 \text{ m}$$

$$b = 30 \text{ m}$$

$$h = 4 \text{ m}$$

$$d = 3 \text{ m}$$

výpočet maximálního dynamického tlaku

$$k_r = 0.19 * (z_0/z_{0,II})^{0.07} = 0.19 * (0.3/0.05)^{0.07} = 0.22$$

$$c_r(z) = k_r * \ln(z/z_0) = 0.22 * \ln(5/0.3) = 0.61$$

$$c_0(z) = 1.00$$

$$v_m(z) = c_r(z) * c_0(z) * v_b = 0.61 * 1.00 * 27.5 = 16.66 \text{ m/s}$$

$$I_v(z) = k_1 / (c_0(z) * \ln(z/z_0)) = 1.00 / (1.00 * \ln(5/0.3)) = 0.36$$

$$q_p(z) = [1 + 7 * I_v(z)] * 0.5 * \rho * v_m^2(z) = [1 + 7 * 0.36] * 0.5 * 1.25 * 16.66^2 = 0.605 \text{ kN/m}^2$$

referenční výška

$$z_t = 200 \text{ m}$$

referenční délka

$$L_t = 300 \text{ m}$$

součinitel α

$$\alpha = 0.67 + 0.05 * \ln(z_0) = 0.67 + 0.05 * \ln(0.3) = 0.61$$

měřítka délky turbulence

$$L(z) = L_t * \left(\frac{z}{z_t}\right)^\alpha = 300 * \left(\frac{5}{200}\right)^{0.61} = 31.64$$

součinitel odezvy pozadí

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0.9 * \left(\frac{b+h}{L(z_s)}\right)^{0.63}} = \frac{1}{1 + 0.9 * \left(\frac{30+4}{31.64}\right)^{0.63}} = 0.51$$

základní vlastní frekvence konstrukce

$$n_{1,x} = 3.25 \text{ Hz}$$

výstup z přídatného modulu RF-DYNAM pro program RFEM:

2.1 Vlastní čísla, frekvence a periody

Vl. tvar č.	A	B	C	D
	Vlastní číslo λ [1/s ²]	Kruhová frekvence ω [rad/s]	Vlastní frekvence f [Hz]	Vlastní perioda T [s]
1	416.893	20.418	3.250	0.308
2	666.403	25.815	4.109	0.243
3	1879.376	43.352	6.900	0.145
4	2839.798	53.290	8.481	0.118

bezrozměrná frekvence

$$f_L(z, n) = n * L(z) / v_m(z) = 3.25 * 31.64 / 16.66 = 6.17$$

bezrozměrná výkonová spektrální hustota

$$S_L(z, n) = \frac{6.8 * f_L(z, n)}{(1 + 10.2 * f_L(z, n))^{5/3}} = \frac{6.8 * 6.17}{(1 + 10.2 * 6.17)^{5/3}} = 0.041$$

součinitele pro výpočet aerodynamické admitance

$$\eta_h = \frac{4.6 * h}{L(z_s)} * f_L(z_s, n_{1,x}) = \frac{4.6 * 4}{31.64} * 6.17 = 3.59$$

$$\eta_b = \frac{4.6 * b}{L(z_s)} * f_L(z_s, n_{1,x}) = \frac{4.6 * 30}{31.64} * 6.17 = 26.91$$

aerodynamické admittance pro základní tvar kmitu

$$R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2 \cdot \eta_h^2} \cdot (1 - e^{-2 \cdot \eta_h}) = \frac{1}{3.59} - \frac{1}{2 \cdot 3.59^2} \cdot (1 - e^{-2 \cdot 3.59}) = 0.24$$

$$R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2 \cdot \eta_b^2} \cdot (1 - e^{-2 \cdot \eta_b}) = \frac{1}{26.91} - \frac{1}{2 \cdot 26.91^2} \cdot (1 - e^{-2 \cdot 26.91}) = 0.04$$

ekvivalentní hmotnost na jednotku délky

$L = 30 \text{ m}$

výstup z přídatného modulu RF-DYNAM pro program RFEM:

2.7 Faktory náhradních hmot						
Vl. tvar č.	A	B	Podílový součinitel		E	F
	Modální hmota M_i [kg]	L_{ix} [kg]	L_{iy} [kg]	L_{iz} [kg]	m_{ex} [kg]	Náhradní hmota m_{ey} [kg]
1	3413.32	0.00	-3948.83	0.00	0.00	4568.34
2	2746.29	0.00	-3272.14	-0.01	0.00	3898.69
3	2296.98	0.02	247.39	-0.02	0.00	26.65
4	2662.33	0.00	-45.81	0.02	0.00	0.79
Celkem					0.00	8494.47

$$m_e = m_{ey} / L = 4568 / 30 = 152.3 \text{ kg}$$

logaritmický dekrement aerodynamického útlumu při základním tvaru kmitání

$$\delta_a = \frac{c_f \cdot \rho \cdot b \cdot v_m(z_s)}{2 \cdot n_1 \cdot m_e} = \frac{2.26 \cdot 1.25 \cdot 30 \cdot 16.66}{2 \cdot 3.25 \cdot 152.3} = 1.43$$

logaritmický dekrement konstrukčního útlumu

δ_s z tabulky v normě je v intervalu 0.06 - 0.12 pro dřevěné mosty

$\delta_s = 0.12$

logaritmický dekrement útlumu od zvláštních zařízení (laděné pohlcovače kmitání, nádrže s vodou)

zvláštní zařízení se na lávce nevyskytují a je roven nule

$\delta_d = 0$

logaritmický dekrement útlumu základního ohybového tvaru kmitání

$$\delta = \delta_a + \delta_s + \delta_d = 1.43 + 0.12 = 1.55$$

rezonanční část odezvy

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2 \cdot \delta} \cdot SL(z_s, n_{1,x}) \cdot R_h(\eta_h) \cdot R_b(\eta_b) = \frac{3.14^2}{2 \cdot 1.55} \cdot 0.041 \cdot 0.24 \cdot 0.04 = 0.0011$$

frekvence přechodů s kladnou směrnici v

$$v = n_{1,x} \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}} = 3.25 \cdot \sqrt{\frac{0.0011}{0.51 + 0.0011}} = 0.15 \text{ Hz}$$

$v > 0.08 \text{ Hz}$

vyhovuje

dobu integrace při stanovení střední rychlosti větru

$T=600s$

součinitel maximální hodnoty

$$k_p = \sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)} + \frac{0.6}{\sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)}} = \sqrt{2 \cdot \ln(0.15 \cdot 600)} + \frac{0.6}{\sqrt{2 \cdot \ln(0.15 \cdot 600)}} = 3.21$$

$k_p > 3$

vyhovuje

součinitel konstrukce

$$c_{s,c_d} = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_v(z_s)} = \frac{1 + 2 \cdot 3.21 \cdot 0.36 \cdot \sqrt{0.51 + 0.0011}}{1 + 7 \cdot 0.36} = 0.76$$

Pro výpočet větru na dřevěné prvky se uvažuje bezpečně hodnota 1.00.

síla na zatížení od větru na linii prvku spodního pásu

$$F_w = c_{s,c_d} \cdot c_f \cdot q_p(z) \cdot b = 1.0 \cdot 2.26 \cdot 0.605 \cdot 0.44 = 0.6 \text{ kN/m}$$

Ostatní průřezy jsou vypočteny stejným způsobem a zatížení v modelu je vnášeno na prvky jako liniové ve směru větru.

1.2.3 Doprava

Podle normy ČSN EN 1991-2 - Zatížení mostů dopravou.

Svislá zatížení

Plošné zatížení

Lze uvažovat model zatížení 4 (zatížení davem lidí) nebo doporučenou hodnotu pokud nebezpečí neexistuje.

$$q_{fk} = 5 \text{ kN/m}^2 \quad \text{model zatížení 4 (zatížení davem lidí)}$$

$$L = 30 \text{ m}$$

$$q_{fk} = 2.0 + 120/(L + 30) = 2.0 + 120/(30+30) = 4.0 \text{ kN/m}^2 \quad \text{doporučená hodnota}$$

Na lávce se neuvažuje vznik souvislého hustého proudu lidí a uvažuje se doporučená hodnota zatížení. V modelu se plošné zatížení uvažuje jako liniové zatížení na podélníky.

$$Z\check{S} \quad 0.85 \text{ m} \quad \text{zatěžovací šířka jednoho podélníku}$$

$$q_{fk} \quad 3.4 \text{ kN/m}$$

Soustředěné zatížení

Uvažuje se, protože je u lávky konstrukčně zamezeno vjetí vozidel.

Používá se pouze pro ověření lokálních účinků.

$$Q_{fwk} \quad 2 \text{ kN} \quad \text{působí na čtvercové ploše o straně 0.1 m}$$

Obslužné vozidlo

Toto zatížení se neuvažuje z důvodu zastřešení lávky, kdy lávka v zimním období zůstává průchozí bez napadeného sněhu. S možností využití lávky pro vozidlo záchranné služby se také neuvažuje, protože toto vozidlo přijede do parku hlavním vjezdem ze silnice. Lávka je zabezpečena proti vjetí vozidla konstrukčně dostatečně tuhými sloupky na obou stranách.

Vodorovná zatížení

Hodnota je rovna 10% z celkového rovnoměrného zatížení. Působí současně s odpovídajícím svislým zatížením, nikdy nepůsobí současně se soustředěným zatížením.

$$q_{fk} \quad 4 \text{ kN/m}^2$$

$$L \quad 30 \text{ m} \quad \text{délka lávky}$$

$$b \quad 3 \text{ m} \quad \text{šířka lávky}$$

$$Q_{fk} \quad 360 \text{ kN} \quad \text{celkové rovnoměrné zatížení}$$

Charakteristická hodnota vodorovné síly

$$Q_{fik} \quad 36 \text{ kN} \quad 10\% \text{ z celkového zatížení odpovídajícího rovnoměrnému zatížení}$$

Síla působí v úrovni vozovky ve směru podélné osy lávky.

V modelu se uvažuje jako liniové zatížení na podélníky.

n	4	počet podélníků na šířku lávky
L	30 m	délka lávky
q_{fik}	0.30 kN/m	liniové zatížení na jeden podélník v podlaze v podélném směru
$q_{fik} = Q_{fik}/(n \cdot L)$		

Sestava zatížení

Ve výpočtovém modelu v softwaru je uvažována sestava zatížení gr1 podle tabulky 5.1.

Tabulka 5.1 – Definice sestav zatížení (charakteristické hodnoty)

Druh zatížení		Svislé síly		Vodorovné síly
zatěžovací systém		rovnoměrné zatížení	obslužné vozidlo	
sestava zatížení	gr1	q_k	0	Q_{tk}
	gr2	0	Q_{serv}	Q_{tk}

Zatížení na zábradlí

Doporučená hodnota ve svislém i vodorovném směru je 1.0 kN/m.

V modelu není modelováno zábradlí. Zatížení pro svislý směr je umístěno na dolní pás příhradového nosníku a zatížení pro vodorovný směr jako soustředěné zatížení na diagonály. Vodorovné zatížení je uvažováno na vnitřní straně zábradlí směrem ven na obou stranách.

1.2.4 Staveništní zatížení

Podle normy ČSN EN 1991-1-6 - Zatížení během provádění.

Osoby a ruční nářadí

$q_{ca,k}$ 1.0 kN/m²

hodnoty kombinačních součinitelů (lávka pro pěší a cyklisty)

ψ_0 1

ψ_2 1

1.2.5 Užité zatížení střechy

Podle normy ČSN EN 1991-1-1 - Objemové tíhy, vlastní tíha a užité zatížení pozemních staveb.

kategorie střechy H - střechy nepřístupné s výjimkou běžné údržby a oprav

doporučené hodnoty podle národní přílohy

Q_k 1 kN

q_k 0.75 kN/m²

soustředěné zatížení Q_k působí na účinné ploše trapézového plechu, která se předpokládá jako čtverec o straně 100 mm.

hodnoty kombinačních součinitelů

ψ_0 0

ψ_2 0

2 Kombinace zatížení

Podle normy ČSN EN 1990 - Zásady navrhování konstrukcí

2.1. Mezní stav únosnosti

Kombinace zatížení je uvažována podle přílohy A2 (informativní) - použití pro mosty.

U lávek pro chodce, na kterých jsou chodci a cyklisté chráněni před všemi druhy nepříznivého počasí se mají stanovit zvláštní kombinace zatížení. Doporučuje se použít kombinace zatížení jako pro budovy (podle přílohy A1), kde se užité zatížení změní za příslušnou sestavu zatížení a součinitele Ψ pro zatížení

Kombinace zatížení pro mimořádné návrhové situace (náraz, požár) a seizmické návrhové situace se při návrhu neuvažují. Uvažuje se pouze kombinace zatížení pro trvalé a dočasné návrhové situace.

V souladu s národní přílohou NA2.20 se pro tuto kombinaci zatížení použije rozhodující z výrazů 6.10a a 6.10b. Výraz 6.10 se neuvažuje, protože výsledný návrh by nebyl hospodárný.

$$\left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \right\} \quad (6.10a)$$

$$\left\{ \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \right\} \quad (6.10b)$$

"+" značí "kombinovaný s"

Σ značí "kombinovaný účinek"

ξ redukční součinitel pro nepříznivá stálá zatížení G

γ_G, γ_Q dílčí součinitele zatížení, kterými se zohledňují možné nepříznivé odchylky hodnot zatížení od reprezentativních hodnot

Ψ kombinační součinitel

hodnoty součinitelů pro stálá zatížení

ξ 0.85

γ_G 1.35

hodnoty součinitelů pro proměnná zatížení

zatížení	γ_Q	ψ_0
sestava zatížení gr1	1.35	0.4
soustředěné zatížení Q_{fwk}	1.35	0
zatížení sněhem	1.5	0.5
zatížení větrem	1.5	0.6
staveništní zatížení	1.5	1
užitné zatížení střechy kat. H	1.5	0

2.2 Mezní stav použitelnosti

Podle přílohy A2 se občasná hodnota u lávek pro chodce neuvažuje a proto častá kombinace nebude brána v úvahu.

a) charakteristická kombinace

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.14b)$$

použití pro nevratné mezní stavy

b) kvazistálá kombinace

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (6.16b)$$

použití pro dlouhodobé účinky a vzhled konstrukce

Hodnoty kombinačních součinitelů

zatížení	ψ_0	ψ_2
sestava zatížení gr1	0.4	0
soustředěné zatížení Q_{fwk}	0	0
zatížení sněhem	0.5	0
zatížení větrem	0.6	0
staveništní zatížení	1	1
užitné zatížení střechy kat. H	0	0

ψ_0 součinitele pro charakteristickou kombinaci

ψ_2 součinitele pro kvazistálou kombinaci

Zatěžovací stavy pro prostorovou příhradovou konstrukci

ZS	název	doba trvání zatížení	účinek zatížení	
1	vlastní tíha	stálé zatížení	účinek 1	současné působení
2	ostatní stálé	stálé zatížení		
3	sníh plný	krátkodobé zatížení	účinek 2	střídavé působení
4	sníh levý	krátkodobé zatížení		
5	sníh pravý	krátkodobé zatížení		
6	vítr příčný - sání,sání	krátkodobé zatížení	účinek 3	střídavé působení
7	vítr příčný - sání,tlak	krátkodobé zatížení		
8	vítr příčný - tlak,sání	krátkodobé zatížení		
9	vítr příčný - tlak,tlak	krátkodobé zatížení		
10	vítr podélný	krátkodobé zatížení		
11	přístřešek - tlak,tlak	krátkodobé zatížení		
12	přístřešek - tlak levý	krátkodobé zatížení		
13	přístřešek - tlak pravý	krátkodobé zatížení		
14	přístřešek - sání,sání	krátkodobé zatížení		
15	přístřešek - sání levé	krátkodobé zatížení		

16	přístřešek - sání pravé		krátkodobé zatížení		
17	dav lidí + zábradlí svisle		krátkodobé zatížení	účinek 4	střídavé působení
18	dav lidí + zábradlí vodorovně		krátkodobé zatížení		

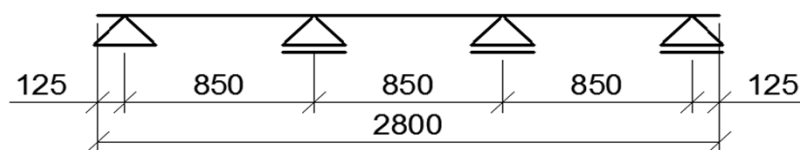
3.1 Pochozí vrstva mostovky

Je provedena z odolnějšího rostlého dubového dřeva třídy D30.

Prkna tvořící tuto vrstvu jsou uložena v příčném směru na podélnících a patřičně připojena.

3.1.1 Statické schéma, zatížení, výpočet a vnitřní síly

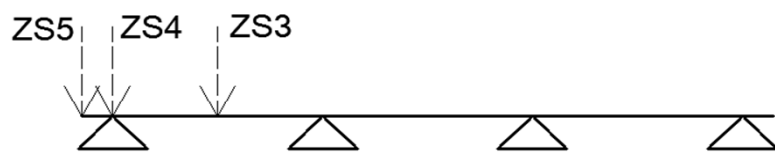
Statické schéma



Zatěžovací stavy, kombinace zatížení a výpočet

Zatěžovací stavy

Jsou uvažována zatížení od vlastní tíhy (ZS1), davu lidí (ZS2) a soustředěného zatížení dle doporučení normy ČSN EN 1991-2. Soustředěné zatížení (2 kN) se uvažuje jako volné a vyskytuje ve 3 různých polohách pro vyvození nejnepříznivějších účinků zatížení (vnitřní síly a momenty) na konstrukci.



	druh zatížení	tíha [kN/m ²]	ZŠ [m]	tíha [kN/m]
1	vlastní tíha	-	0.25	0.064
2	dav lidí	4	0.25	1
3 - 5	soustředěné zatížení $Q_{fwk} = 2\text{ kN}$			

Kombinace zatížení

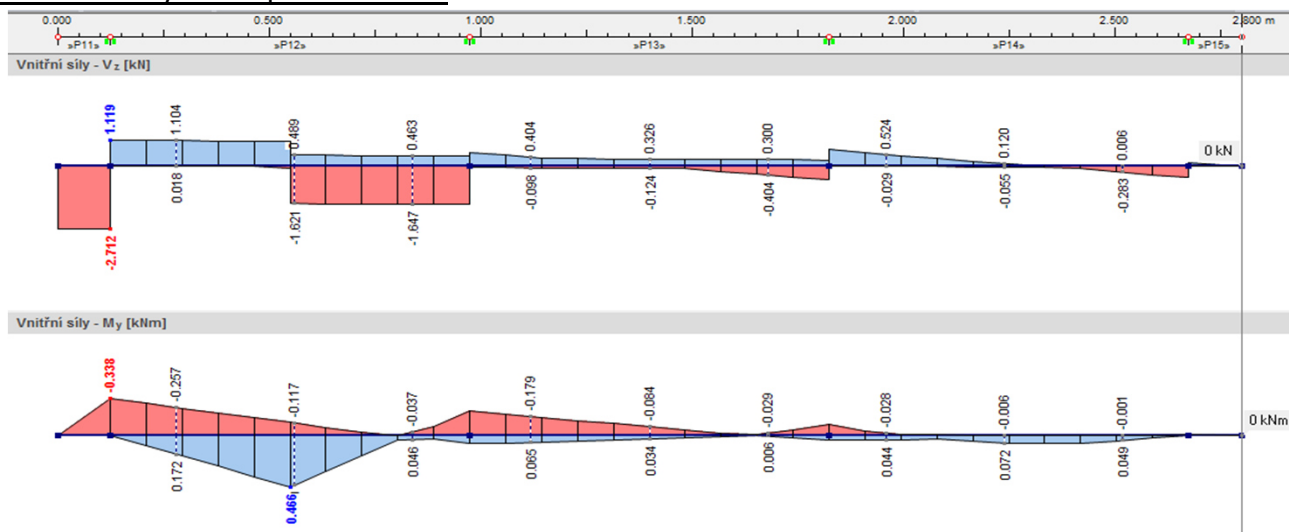
Soustředěné zatížení a dav lidí se nevyskytují zároveň a každá kombinace vždy uvažuje vlastní tíhu a jeden případ proměnného zatížení. Pro mezní stav únosnosti se uvažuje kombinace 6.10a a 6.10b.

Výpočet

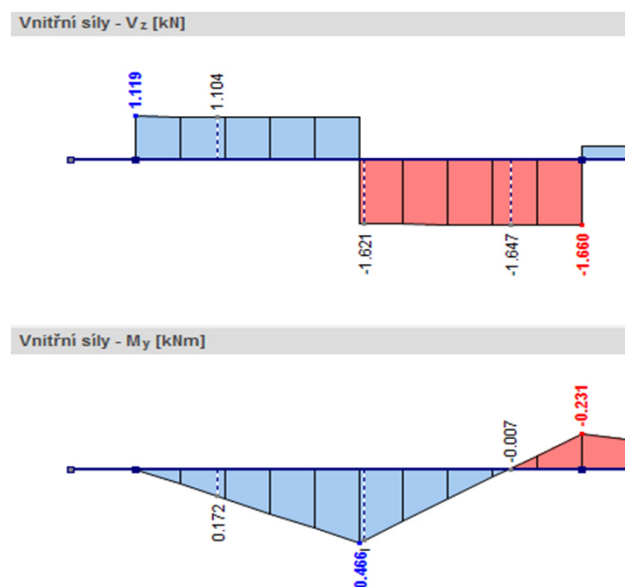
Analýza konstrukce je provedena ve studentské verzi programu RFEM 5.01 od společnosti Dlubal Software s.r.o. Metoda analýzy je podle I.řádu (geometricky lineární výpočet). Jsou vypočteny přetvoření a účinky zatížení pro jednotlivé zatěžovací stavy a kombinace. Kombinace zatížení jsou dále uvažovány pro kombinaci výsledků zahrnující maximální a minimální hodnoty ze všech kombinací zatížení. Ta je přehledně vykreslena po délce konstrukce.

Výsledky výpočtu

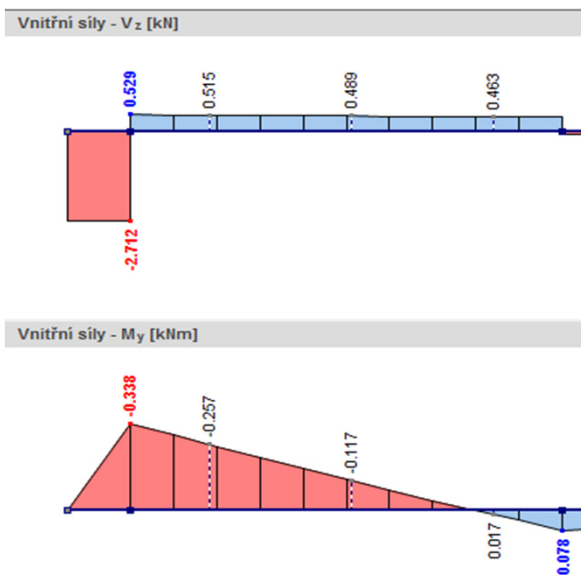
kombinace výsledků pro únosnost



kombinace zatížení 1 (KZ1)



kombinace zatížení 2 (KZ2)



maximální hodnoty vnitřních sil

kombinace zatížení 1 (KZ1)

1.15*ZS1 + 1.35*ZS3

My, max

0.47 kNm

Vz, odp

1.62 kN

kombinace zatížení 2 (KZ2)

1.15*ZS1 + 1.35*ZS5

Vz, max

2.71 kN

My, odp

0.34 kNm

3.1.2 Výpočet návrhových hodnot pevností a průřezových charakteristik

Pevnostní a tuhostní vlastnosti materiálu v charakteristických hodnotách

Třída pevnosti		D30
Pevnostní vlastnosti [MPa]		
Ohyb	$f_{m,k}$	30
Tah II s vlákny	$f_{t,0,k}$	18
Tah \perp k vláknům	$f_{t,90,k}$	0.6
Tlak II s vlákny	$f_{c,0,k}$	23
Tlak \perp k vláknům	$f_{c,90,k}$	8
Smyk	$f_{v,k}$	3
Tuhostní vlastnosti [GPa]		
Průměrná hodnota modulu pružnosti II s vlákny	$E_{0,mean}$	10
5% kvantil modulu pružnosti II s vlákny	$E_{0,05}$	8
Průměrná hodnota modulu pružnosti \perp k vláknům	$E_{90,mean}$	0.64
Průměrná hodnota modulu pružnosti ve smyku	G_{mean}	0.6
Hustota [kg/m³]		
Hustota	ρ_k	530
Průměrná hodnota hustoty	ρ_{mean}	640

Zatížení a vlivy prostředí

Třída trvání zatížení

zatížení	třída trvání zatížení
vlastní tíha	stálé
dav lidí	krátkodobé
soustředěné z.	krátkodobé

Třída provozu

Lávka je zastřešená, ale desky, které nejsou zespodu od hladiny řeky chráněny, mohou mít vyšší vlhkost než jiné prvky konstrukce. Také sem může občas napadnout sníh nebo napršet, protože střecha nemá zase tak dlouhý převis. Třída provozu je proto 3.

Součinitele potřebné pro návrhové hodnoty pevností a tuhostí

Modifikační součinitele pevnosti pro třídy provozu a třídy trvání zatížení

a) modifikační součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti

k_{mod} 0.7 (rostlé dřevo, třída provozu 3, krátkodobé zatížení)

b) součinitel zvětšující únosnost v ohybu $f_{m,k}$

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{150}{h} \right)^{0.2} = \min \left\{ \left(\frac{150}{40} \right)^{0.2} = \min \left\{ \frac{1.303}{1.3} = 1.3 \right. \right. \right. \quad \text{vzorec pro rostlé dřevo}$$

h 40 mm h ... výška profilu

c) součinitel zvětšující únosnost v tahu II s vlákny $f_{t,0,k}$

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{150}{h} \right)^{0.2} = \min \left\{ \left(\frac{150}{250} \right)^{0.2} = \min \left\{ \frac{0.9}{1.3} = 0.9 < 1 \dots k_h = 1.0 \right. \right. \right.$$

h 250 mm h ... maximální rozměr průřezu

Modifikační součinitel deformace pro třídy provozu - součinitel deformace

k_{def} 2 (rostlé dřevo, třída provozu 3)

Výpočet návrhových pevnostních a tuhostních vlastností materiálu

návrhové hodnoty pevnostních vlastností materiálu

$$X_d = k_{\text{mod}} \frac{X_k}{\gamma_M}$$

dílčí součinitel vlastnosti materiálu

γ_M 1.3 Rostlé dřevo

$$f_{m,d} = k_{\text{mod}} * k_h * f_{m,k} / \gamma_M = 0.7 * 1.3 * 30 / 1.3 = 21 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{\text{mod}} * k_h * f_{t,0,k} / \gamma_M = 0.7 * 1 * 18 / 1.3 = 9.69 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,d} = k_{\text{mod}} * f_{t,90,k} / \gamma_M = 0.7 * 0.6 / 1.3 = 0.32 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{\text{mod}} * f_{c,0,k} / \gamma_M = 0.7 * 23 / 1.3 = 12.38 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,d} = k_{\text{mod}} * f_{c,90,k} / \gamma_M = 0.7 * 8 / 1.3 = 4.31 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} * f_{v,k} / \gamma_M = 0.7 * 3 / 1.3 = 1.62 \text{ MPa}$$

návrhové hodnoty tuhostních vlastností materiálu

$$E_d = \frac{E_{\text{mean}}}{\gamma_M}$$

$$G_d = \frac{G_{\text{mean}}}{\gamma_M}$$

$$E_{0,d} = E_{0,\text{mean}} / \gamma_M = 10 / 1.3 = 7.69 \text{ GPa}$$

$$E_{90,d} = E_{90,\text{mean}} / \gamma_M = 0.64 / 1.3 = 0.49 \text{ GPa}$$

$$G_d = G_{\text{mean}} / \gamma_M = 0.6 / 1.3 = 0.46 \text{ GPa}$$

Průřezové charakteristiky

$$h = 40 \text{ mm}$$

výška průřezu

$$b = 250 \text{ mm}$$

šířka průřezu

$$A = h * b = 40 * 250 = 10\,000 \text{ mm}^2$$

plocha průřezu

$$W_y = \frac{1}{6} b h^2 = \frac{1}{6} * 250 * 40^2 = 7.E+04 \text{ mm}^3$$

průřezové moduly W_y a W_z

$$W_z = \frac{1}{6} h b^2 = \frac{1}{6} * 40 * 250^2 = 4.E+05 \text{ mm}^3$$

$$I_y = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} * 250 * 40^3 = 1.33E+06 \text{ mm}^4$$

momenty setrvačnosti I_y a I_z

$$I_z = \frac{1}{12} h b^3 = \frac{1}{12} * 40 * 250^3 = 5.21E+07 \text{ mm}^4$$

3.1.3 Mezní stav únosnosti

Podle ČSN EN 1995-1-1 (6.1.6 Ohyb, 6.1.7 Smyk)

Ohyb

Jedná se o jednoosý ohyb.

$$f_{m,d} = 21 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,d} = M_{Ed} / W_y$$

a) Kombinace zatížení 1

$$M_{y,\text{max}} = 466000.00 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_{m,d} = M_{y,\text{max}} / W_y = 466\,000 / 7.E+04 = 7.0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,d} < f_{m,d} \quad 7.0 < 21 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje} \quad 33.29\%$$

a) Kombinace zatížení 2

$$M_{y,odp} = 338000.00 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_{m,d} = M_{y,odp} / W_y = 338\,000 / 7.E+04 = 5.1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,d} < f_{m,d} \quad 5.1 < 21 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje} \quad 24.14\%$$

Smyk

Jedná se o smyk za ohybu.

$$f_{v,d} = 1.62 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} * \frac{V_{Ed}}{A_v}$$

a) Kombinace zatížení 1

$$V_{z,odp} = 1.62 \text{ kN}$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} * \frac{V_{Ed}}{A_v} = \frac{3}{2} * \frac{1620}{10000} = 0.24$$

$$\tau_d < f_{v,d} \quad 0.24 < 1.62 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje} \quad 15.04\%$$

b) Kombinace zatížení 2

$$V_{z,max} = 2.71 \text{ kN}$$

$$\tau_d = 0.41 \text{ MPa}$$

$$\tau_d < f_{v,d} \quad 0.41 < 1.62 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje} \quad 25.16\%$$

3.1.4 Mezní stav použitelnosti

Podle ČSN EN 1995-1-1 (7.2 - Mezní hodnoty průhybů nosníků, 2.2.3 - Mezní stavy použitelnosti)

Obecně se hodnota konečného průhybu stanovuje následovně.

$$w_{fin} = w_{inst} + w_{creep}$$

w_{fin}	konečný průhyb
w_{inst}	okamžitý průhyb
w_{creep}	průhyb od dotvarování

Pro deformaci desky lze použít zjednodušený výpočet konečného průhybu, protože se jedná o jeden prvek. Toto zjednodušení je vhodné použít ve většině případů.

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q1} + u_{fin,Qi}$$

$u_{fin,G} = u_{inst,G} * (1 + k_{def})$	vlastní tíha
$u_{fin,Q,1} = u_{inst,Q,1} * (1 + \psi_{2,1} * k_{def})$	soustředěné zatížení
$u_{fin,Q,i} = u_{inst,Q,i} * (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} * k_{def})$	dav lidí

$$k_{def} = 2$$

Průhyb od vlastní tíhy je tak malý, že jej při lineární analýze výpočetní software nedokáže vykreslit. Tím se rozumí řádově v setinách milimetrů, průhyb od soustředěného zatížení je rozhodující.

Dav lidí se nemůže kombinovat se soustředěným zatížením a průhyb není rozhodující, provede se pouze posouzení pro soustředěné zatížení.

a) pro pole

$u_{inst,Q,1}$	1.4 mm
ψ_2	0
$u_{fin,Q,1}$	1.4 mm

limitní hodnota průhybu

L	850 mm	
L/300	2.8 mm	pro $w_{inst}(u_{inst})$
L/250	3.4 mm	pro $w_{fin}(u_{fin})$

poznámka: protože prvek je bez nadvýšení, pro jednoduchost píší místo $w_{net,fin} - w_{fin}$.

posouzení

$u_{inst,Q,1} < L/300$	1.4	<	2.8 mm	vyhovuje
$u_{fin,Q,1} < L/250$	1.4	<	3.4 mm	vyhovuje

b) pro konzolu

$u_{\text{inst},Q,1}$ 0.7 mm

$u_{\text{fin},Q,1}$ 0.7 mm

limitní hodnota průhybu

L 125 mm

L/150 0.8 mm

L/125 1.0 mm

pro $w_{\text{inst}}(u_{\text{inst}})$

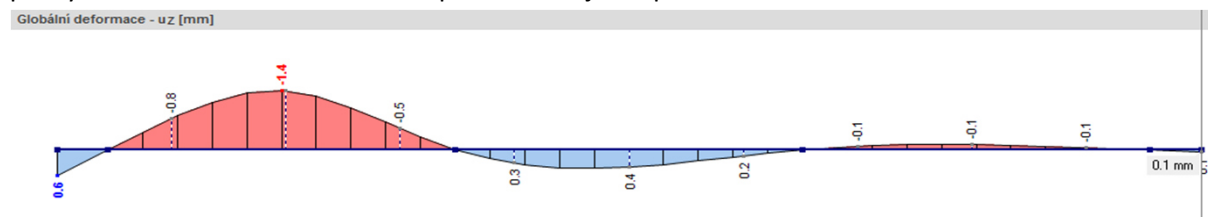
pro $w_{\text{fin}}(u_{\text{fin}})$

posouzení

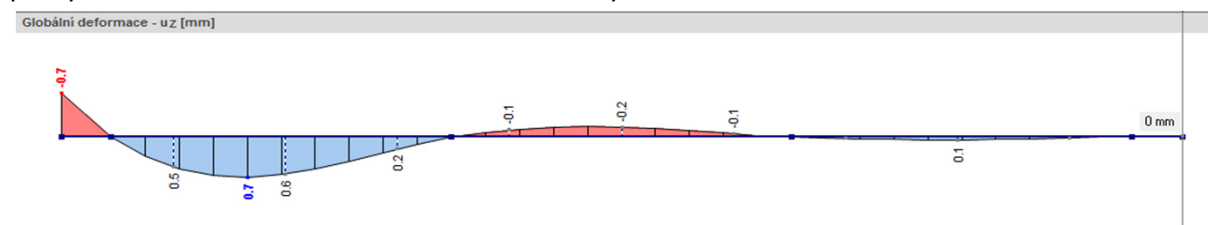
$u_{\text{inst},Q,1} < L/150$ 0.7 < 0.8 mm vyhovuje

$u_{\text{fin},Q,1} < L/125$ 0.7 < 1.0 mm vyhovuje

průhyb od soustředěného zatížení uprostřed krajního pole



průhyb od soustředěného zatížení na konci konzoly



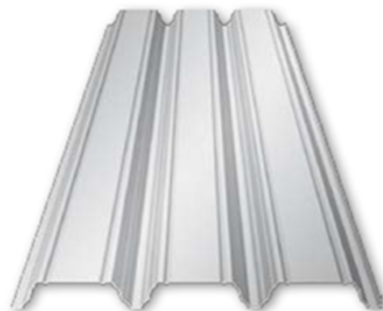
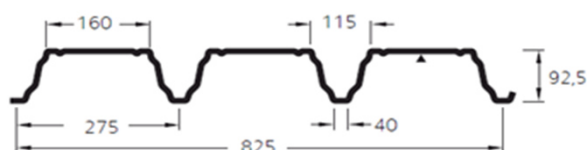
3.2 Trapézový plech

Plech leží ve střešní rovině, která je od vodorovného směru odkloněna o úhel 20° .

Je uložen na vaznicích a připojen vruty. Přesah zakrývá horní pás příhradového nosníku z GL-24h a sahá zhruba 20cm za jeho vnější hranu.

Pevnostní třída oceli, průřezové charakteristiky a obrázky plechu jsou převzaty z tabulek únosností výrobce ArcelorMittal. Průřez spadá do třídy 4.

Hacierco 92/275

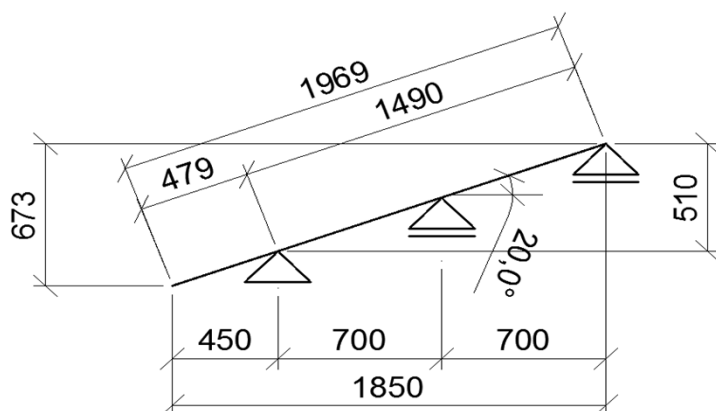


zdroj:

http://svf.uniza.sk/kskm/web/pomocky/bc/kk2/Trapezove_profily.pdf

3.2.1 Statické schéma, zatížení, výpočet a vnitřní síly

Statické schéma



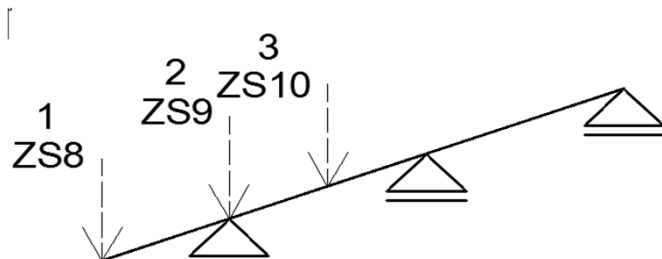
Zatěžovací stavy, kombinace zatížení a výpočet

Zatěžovací stavy

	druh zatížení	tíha [kN/m ²]	ZŠ [m]	tíha [kN/m]
1	vlastní tíha	0.14	0.1	0.014
2	sníh plný	2.32	0.1	0.232
3	příčný vítr tlak	oblast F	0.26	0.1
		oblast H	0.19	0.019
4	příčný vítr sání	oblast F	-0.75	0.1
		oblast H	-0.19	-0.019
5	podélný vítr sání	oblast F	-1.32	0.1
		oblast G	-1.44	-0.144
6	přístřešek tlak	oblast B	1.32	0.132
7	přístřešek sání	oblast B	-1.25	-0.125
8-10	užitné zatížení střechy kat. H ($Q_k = 1\text{kN}$)		-	-

Plech se posuzuje v tom místě střechy kde vítr dosahuje svého maxima. Je to v čele lávky.

Soustředěné zatížení (působící na ploše čtverce o straně 100 mm) se uvažuje jako volné a je umístěno tak, aby vyvolávalo nejnepríznivější účinky zatížení (vnitřní síly a momenty) na konstrukci.



Kombinace zatížení

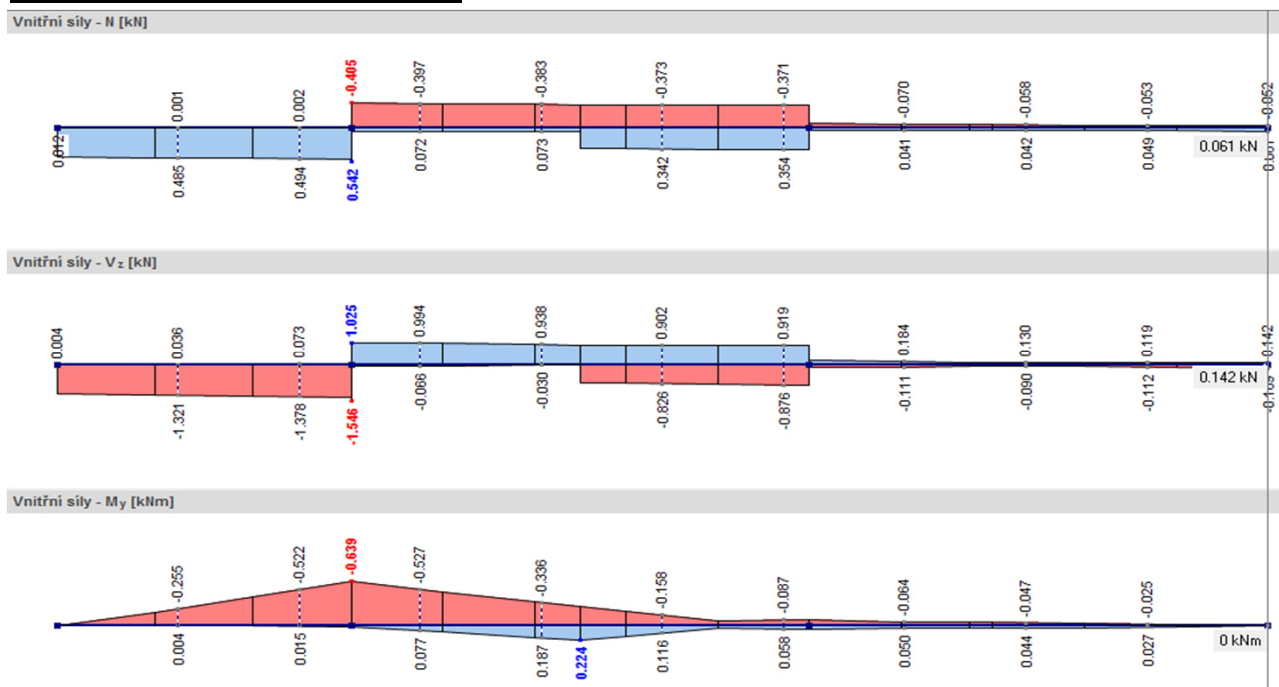
Pro mezní stav únosnosti se uvažují kombinace 6.10a a 6.10b.

Výpočet

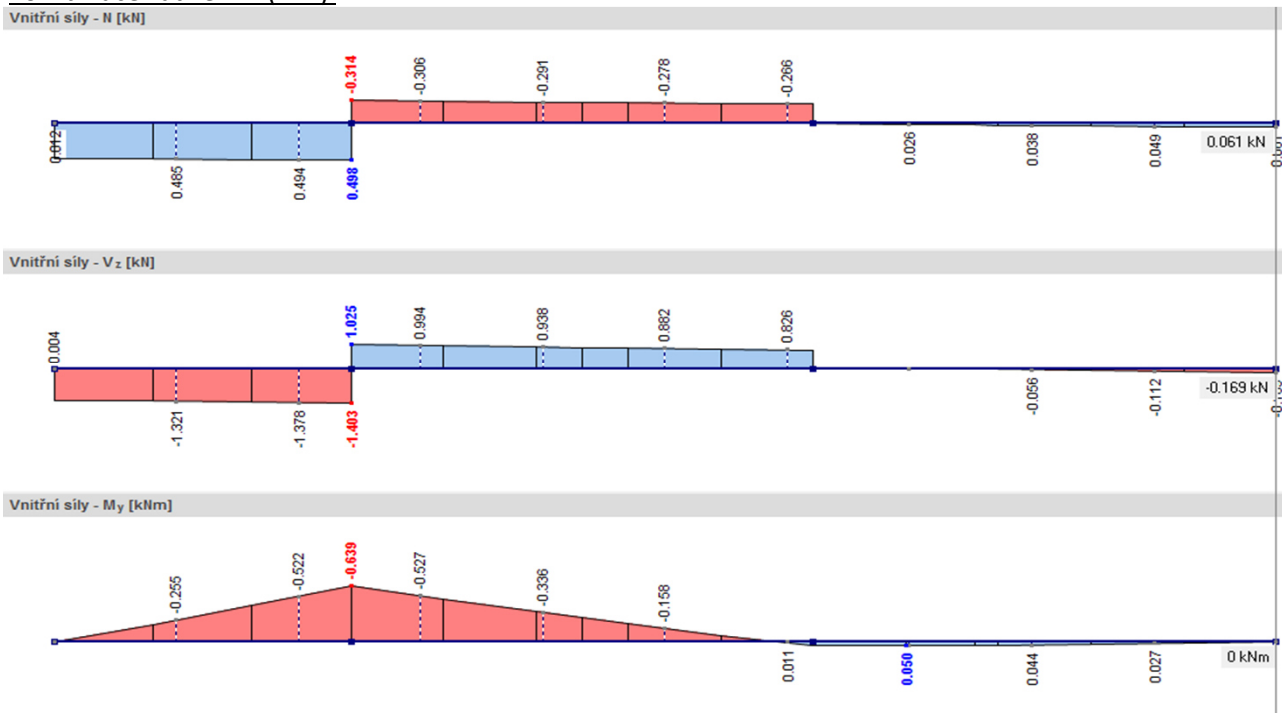
Analýza konstrukce je provedena ve studentské verzi programu RFEM 5.01 od společnosti Dlubal Software s.r.o. Metoda analýzy je podle I.řádu (geometricky lineární výpočet). Jsou vypočteny přetvoření a účinky zatížení pro jednotlivé zatěžovací stavy a kombinace. Kombinace zatížení jsou dále uvažovány pro kombinaci výsledků zahrnující maximální a minimální hodnoty ze všech kombinací zatížení. Ta je přehledně vykreslena po délce konstrukce.

Výsledky výpočtu

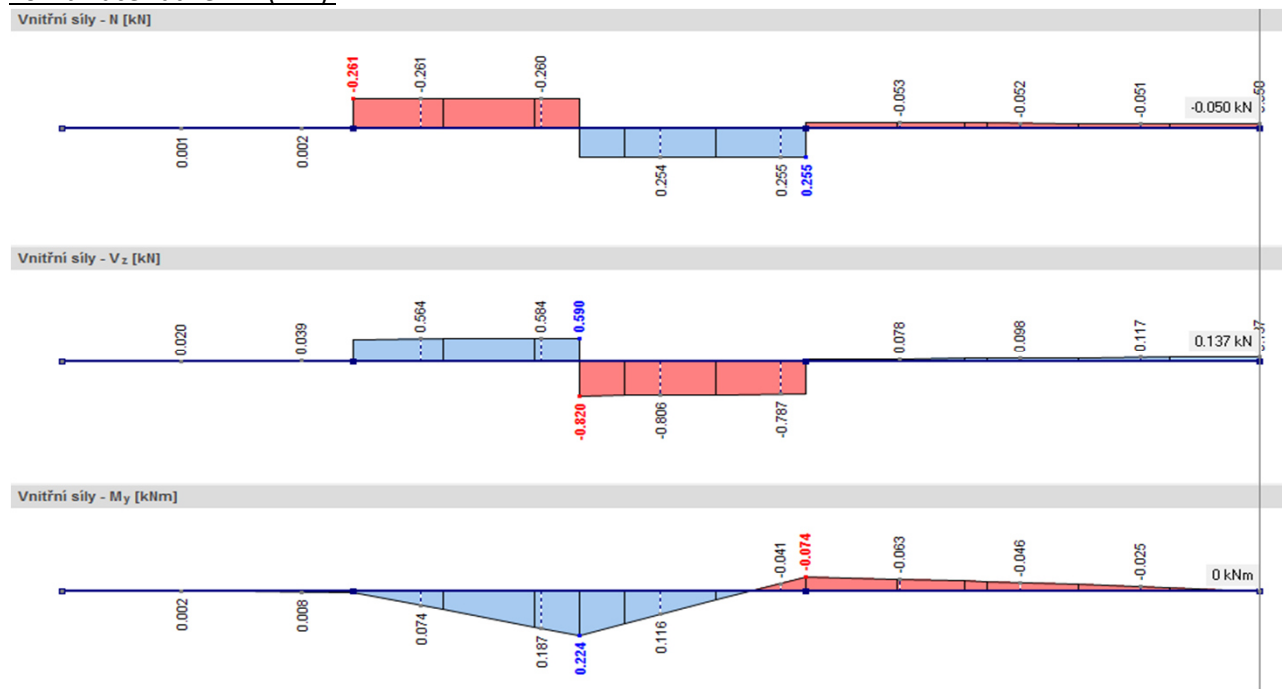
kombinace výsledků pro únosnost



kombinace zatížení 1 (KZ1)



kombinace zatížení 2 (KZ2)



maximální hodnoty vnitřních sil

kombinace zatížení 1 (KZ1)

My, max	0.64 kNm (záporný)
Vz, odp	1.40 kN
N, odp	0.50 kN (tah)
N, odp	0.31 kN (tlak)

kombinace zatížení 2 (KZ2)

My, max	0.22 kNm (kladný)
Vz, odp	0.82 kN
N, odp	0.26 kN (tah)
N, odp	0.26 kN (tlak)

KZ1 1.15*ZS1 + 0.75*ZS2 + 0.9*ZS6 + 1.5*ZS8
KZ2 1.15*ZS1 + 0.9*ZS7 + 1.5*ZS10

3.2.2 Materiál a průřezové charakteristiky

Materiál

Ocel S320

f_y	320 MPa	mez kluzu
f_u	390 MPa	mez pevnosti

Efektivní průřezové charakteristiky

pozitivní poloha - kladný moment

t	1.25 mm
A_{eff}	1489.00 mm ² /m
A_g	1830.40 mm ² /m
I_{eff}	1.74.E+06 mm ⁴ /m
z_{eff}	53.39 mm
W_{eff}	32639.87 mm ³ /m

převedení na 0.1 m šířky

A_{eff}	148.90 mm ²
A_g	183.04 mm ²
I_{eff}	1.74.E+05 mm ⁴
W_{eff}	3264 mm ³

pozitivní poloha - záporný moment

t	1.25 mm
A_{eff}	1808.40 mm ² /m
A_g	1830.40 mm ² /m
I_{eff}	2.15.E+06 mm ⁴ /m
z_{eff}	60.5 mm
W_{eff}	35556 mm ³ /m

převedení na 0.1 m šířky

A_{eff}	180.84 mm ²
A_g	183.04 mm ²
I_{eff}	2.15.E+05 mm ⁴
W_{eff}	3556 mm ³

3.2.3 Mezní stav únosnosti

Podle ČSN EN 1993-1-1 a ČSN EN 1993-1-3

Osový tah

Návrhová únosnost průřezu v rovnoměrném tahu

$$N_{t,Rd} = f_{ya} * A_g / \gamma_{M0} = 320 * 183.04 / 1.00 = 58573 \text{ N}$$

A_g	183.04 mm ²
γ_{M0}	1.00

A_g	plná plocha průřezu
f_{ya}	průměrná mez kluzu, výrobce neuvádí, použití základní meze kluzu je na straně bezpečné

Posouzení

a) KZ1

$N_{t,Rd}$	58.57 kN		
N_{Ed}	0.50 kN	$N_{t,Rd} > N_{Ed}$	0.85%
		vyhovuje	

b) KZ2

$N_{t,Rd}$	58.57 kN		
N_{Ed}	0.26 kN	$N_{t,Rd} > N_{Ed}$	0.45%
		vyhovuje	

Osový tlak

Návrhová únosnost průřezu v tlaku

$$N_{c,Rd} = f_{yb} \cdot A_{eff} / \gamma_{M0} = 320 \cdot 148.90 / 1.00 = 47\,648 \text{ N} \quad (\text{kladný moment})$$
$$N_{c,Rd} = f_{yb} \cdot A_{eff} / \gamma_{M0} = 320 \cdot 180.84 / 1.00 = 57\,869 \text{ N} \quad (\text{záporný moment})$$

A_{eff} účinná plocha průřezu

f_{yb} základní mez kluzu

Posouzení

a) KZ1

$N_{c,Rd}$	57.87 kN		
N_{Ed}	0.31 kN	$N_{c,Rd} > N_{Ed}$	0.54%
		vyhovuje	

b) KZ2

$N_{c,Rd}$	47.65 kN		
N_{Ed}	0.26 kN	$N_{c,Rd} > N_{Ed}$	0.54%
		vyhovuje	

Ohybový moment

Návrhová únosnost průřezu v ohybu

a) pro kladný ohybový moment

$$M_{Rd} = W_{eff} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 3264 \cdot 320 / 1.00 = 1\,044\,476 \text{ Nmm}$$

$$\gamma_{M1} = 1.00$$

b) pro záporný ohybový moment

$$M_{Rd} = W_{eff} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 3556 \cdot 320 / 1.00 = 1\,137\,792 \text{ Nmm}$$

$$\gamma_{M1} = 1.00$$

Posouzení

a) KZ1 - pro záporný ohybový moment

M_{Rd} 1.138 kNm

M_{Ed} 0.64 kNm

$M_{c,Rd} > M_{Ed}$ 56.16%

vyhovuje

b) KZ2 - pro kladný ohybový moment

M_{Rd} 1.044 kNm

M_{Ed} 0.22 kNm

$M_{c,Rd} > M_{Ed}$ 21.45%

vyhovuje

Smyková síla

Návrhová únosnost ve smyku

Na šířku 100 mm je v průřezu trapézového plechu pouze jedna stojina.

1. Stanovení momentu setrvačnosti výztuh ve stojině

Stojina má 2 podélné výztuhy, kdy ale vždy pouze jedna je v oblasti určené vzdáleností $e_c = z_{eff}$.

a) výztuha v pozitivní poloze plechu

$e_c = z_{eff}$ 53.39 mm

s_a 13.5 mm

h_a 13.2 mm

h_{sa} 9.7 mm

s_n 30.2 mm

$$s_{eff,0} = 0.76 * t * \sqrt{E / (\gamma_{M0} * \sigma_{com,Ed})} =$$

$$0.76 * 1.25 * \sqrt{210\,000 / (1.00 * 320)} =$$

$$24.34 \text{ mm}$$

$\sigma_{com,Ed}$ napětí v tlačené pásnici, uvažováno jako mez kluzu

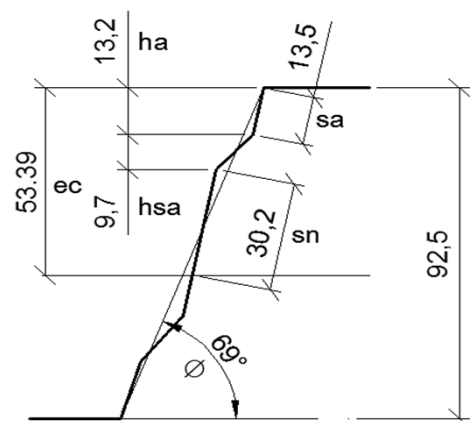
E modul pružnosti v tahu a tlaku, $E = 210\,000 \text{ MPa}$

$s_{eff,1}$ 24.34 mm

$s_{eff,1} = s_{eff,0}$

$s_{eff,1} > s_a$

$24.34 > 13.5 \text{ mm}$



Protože rovnice platí, je celá část s_a účinná a vzdálenosti se vypočtou podle následujících vztahů.

$$s_{\text{eff},1} = \frac{s_a}{2 + 0.5 * h_a / e_c} = \frac{13.5}{2 + 0.5 * 13.2 / 53.39} = 6.36 \text{ mm}$$

$$s_{\text{eff},2} = s_a * \frac{(1 + 0.5 * h_a / e_c)}{2 + 0.5 * h_a / e_c} = 13.5 * \frac{(1 + 0.5 * 13.2 / 53.39)}{2 + 0.5 * 13.2 / 53.39} = 7.14 \text{ mm}$$

$$s_{\text{eff},3} = (1 + 0.5 * (h_a + h_{sa}) / e_c) * s_{\text{eff},0} = (1 + 0.5 * (13.2 + 9.7) / 53.39) * 24.34 = 29.56 \text{ mm}$$

$$s_{\text{eff},n} = 1.5 * s_{\text{eff},0} = 1.5 * 24.34 = 36.50 \text{ mm}$$

$$s_{\text{eff},3} + s_{\text{eff},n} = 29.56 + 36.50 = 66.06 \text{ mm}$$

$$s_{\text{eff},3} + s_{\text{eff},n} > s_n$$

$$66.06 > 30.2 \text{ mm}$$

Tato rovnice také platí, celá část s_n je účinná a vzdálenosti se vypočtou podle následujících vztahů.

$$s_{\text{eff},3} = s_n * \frac{(1 + 0.5 * (h_a + h_{sa}) / e_c)}{2.5 + 0.5 * (h_a + h_{sa}) / e_c} = 30.2 * \frac{(1 + 0.5 * (13.2 + 9.7) / 53.39)}{2.5 + 0.5 * (13.2 + 9.7) / 53.39} = 13.51 \text{ mm}$$

$$s_{\text{eff},n} = \frac{1.5 * s_n}{2.5 + 0.5 * (h_a + h_{sa}) / e_c} = \frac{1.5 * 30.2}{2.5 + 0.5 * (13.2 + 9.7) / 53.39} = 16.69 \text{ mm}$$

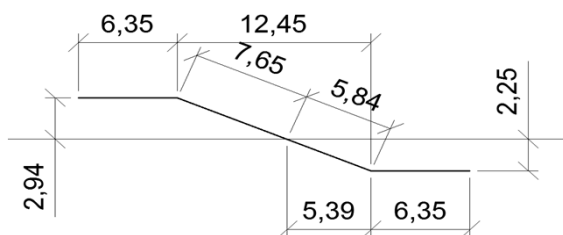
I_s moment setrvačnosti výztuhy sestávající ze záhybu šířky s_{sa} a dvou přilehlých pásů, každý šířky $s_{\text{eff},1}$, k ose rovnoběžné s rovinou stojiny.

Při výpočtu I_s je zanedbána změna sklonu stojiny na obou stranách výztuhy.

I_{s1}

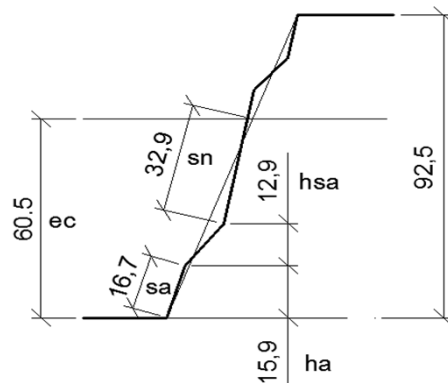
121 mm⁴

vypočteno v AutoCadu



b) výztuha v negativní poloze plechu

$e_c = z_{\text{eff}}$	60.5 mm
s_a	16.7 mm
h_a	15.9 mm
h_{sa}	12.9 mm
s_n	32.9 mm



$$s_{\text{eff},0} = 0.76 * t * \sqrt{E / (Y_{M0} * \sigma_{\text{com}, Ed})} =$$

$$0.76 * 1.25 * \sqrt{210\,000 / (1.00 * 320)} =$$

$$24.34 \text{ mm}$$

$$s_{\text{eff},1} = 24.34 \text{ mm} \quad s_{\text{eff},1} = s_{\text{eff},0}$$

$$s_{\text{eff},1} > s_a \quad 24.34 > 16.7 \text{ mm}$$

Protože rovnice platí, je celá část s_a účinná a vzdálenosti se vypočtou podle následujících vztahů.

$$s_{\text{eff},1} = \frac{s_a}{2 + 0.5 * h_a / e_c} = \frac{16.7}{2 + 0.5 * 15.9 / 60.5} = 7.84 \text{ mm}$$

$$s_{\text{eff},2} = s_a * \frac{(1 + 0.5 * h_a / e_c)}{2 + 0.5 * h_a / e_c} = 16.7 * \frac{(1 + 0.5 * 15.9 / 60.5)}{2 + 0.5 * 15.9 / 60.5} = 8.86 \text{ mm}$$

$$s_{\text{eff},3} = (1 + 0.5 * (h_a + h_{sa}) / e_c) * s_{\text{eff},0} = (1 + 0.5 * (15.9 + 12.9) / 60.5) * 24.34 = 30.13 \text{ mm}$$

$$s_{\text{eff},n} = 1.5 * s_{\text{eff},0} = 1.5 * 24.34 = 36.50 \text{ mm}$$

$$s_{\text{eff},3} + s_{\text{eff},n} = 30.13 + 36.50 = 66.63 \text{ mm}$$

$$s_{\text{eff},3} + s_{\text{eff},n} > s_n \quad 66.63 > 32.9 \text{ mm}$$

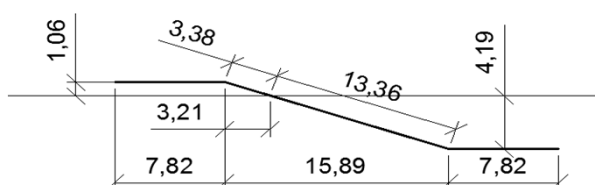
Tato rovnice také platí, celá část s_n je účinná a vzdálenosti se vypočtou podle následujících vztahů.

$$s_{\text{eff},3} = s_n * \frac{(1 + 0.5 * (h_a + h_{sa}) / e_c)}{2.5 + 0.5 * (h_a + h_{sa}) / e_c} = 32.9 * \frac{(1 + 0.5 * (15.9 + 12.9) / 60.5)}{2.5 + 0.5 * (15.9 + 12.9) / 60.5} = 14.88 \text{ mm}$$

$$s_{\text{eff},n} = \frac{1.5 * s_n}{2.5 + 0.5 * (h_a + h_{sa}) / e_c} = \frac{1.5 * 32.9}{2.5 + 0.5 * (15.9 + 12.9) / 60.5} = 18.02 \text{ mm}$$

I_s moment setrvačnosti výztuhy sestávající ze záhybu šířky s_{sa} a dvou přilehlých pásů, každý šířky $s_{\text{eff},1}$, k ose rovnoběžné s rovinou stojiny.
Při výpočtu I_s je zanedbána změna sklonu stojiny na obou stranách výztuhy.

I_{s2} 228 vypočteno v AutoCadu



c) celkový moment setrvačnosti

$$\Sigma I_s \quad 349 \text{ mm}^4 \quad I_s = I_{s1} + I_{s2}$$

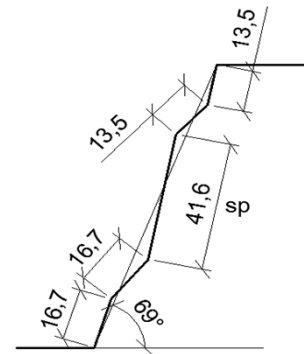
2. Výpočet poměrné štíhlosti stojiny
pro stojiny s podélnými výztuhami

$$s_d \quad 102 \text{ mm}$$

$$s_p \quad 41.6 \text{ mm}$$

$$s_d \quad \text{celková rozvinutá šířka stojiny}$$

$$s_p \quad \text{šikmá výška nejdelší rovinné části stojiny}$$



$$s_d = 16.7 + 16.7 + 41.6 + 13.5 + 13.5 = 102$$

$$t \quad 1.25 \text{ mm}$$

$$k_t = 5.34 + \frac{2.10}{t} * \left(\frac{\Sigma I_s}{s_d} \right)^{1/3} = 5.34 + \frac{2.10}{1.25} * \left(\frac{349}{102} \right)^{1/3} = 7.87$$

$$\bar{\lambda}_w = 0.346 * \frac{s_d}{t} * \sqrt{\frac{5.34 * f_{yb}}{k_t * E}} = 0.346 * \frac{102}{1.25} * \sqrt{\frac{5.34 * 320}{7.87 * 210\,000}} = 0.908$$

$$\bar{\lambda}_w \geq 0.346 * \frac{s_p}{t} * \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}} = 0.346 * \frac{41.6}{1.25} * \sqrt{\frac{320}{210\,000}} = 0.45$$

splňuje

3. Smyková pevnost f_{bv} s vlivem boulení

$$f_{bv} = 0.48 * f_{yb} / \bar{\lambda}_w = 0.48 * 320 / 0.908 = 169.21 \text{ MPa}$$

4. Návrhová únosnost ve smyku $V_{b,Rd}$

$$h_w \quad 92.5 \text{ mm}$$

$$\varnothing \quad 69^\circ$$

$$V_{b,Rd} = \frac{\frac{h_w}{\sin \varnothing} * t * f_{bv}}{\gamma_{M0}} = \frac{\frac{92.5}{\sin 69} * 1.25 * 169.21}{1.00} = 20\,957 \text{ N}$$

Posouzení

a) KZ1

$V_{b,Rd}$	20.96 kN		
V_{Ed}	1.40 kN	$V_{b,Rd} > V_{Ed}$	6.69%
vyhovuje			

b) KZ2

$V_{b,Rd}$	20.96 kN		
V_{Ed}	0.82 kN	$V_{b,Rd} > V_{Ed}$	3.91%
vyhovuje			

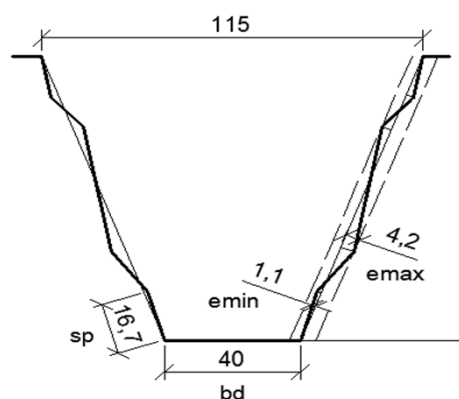
Lokální příčná síla

1. podmínka pro možnost výpočtu vyztužené stojiny

$$2 < e_{max}/t < 12$$

e_{max}	4.2 mm
t	1.25 mm
e_{max}/t	3.36

e_{max} větší z excentricit záhybů vztažených k systémové ose stojiny



2. součinitel $\kappa_{a,s}$ pro přenásobení únosnosti nevyztužené stojiny

b_d	rozvinutá šířka zatížené pásnice
e_{min}	menší z excentricit záhybů vztažených k systémové ose stojiny
s_p	šikmá výška rovinné části stojiny nejbližší k zatížené pásnici

b_d	40 mm
e_{min}	1.1 mm
s_p	16.7 mm

$$\kappa_{a,s} = 1.45 - 0.05 \cdot e_{max}/t = 1.45 - 0.05 \cdot 4.2 / 1.25 = 1.282$$

$$\kappa_{a,s} \leq 0.95 + 35\,000 \cdot t^2 \cdot e_{min} / (b_d^2 \cdot s_p) = 0.95 + 35\,000 \cdot 1.25^2 \cdot 1.1 / (40^2 \cdot 16.7) = 3.20 \quad \text{splňuje}$$

3. výpočet lokální příčné únosnosti $R_{w,Rd}$

Provede se posouzení, kdy soustředěné zatížení o hodnotě $Q_d = 1.5$ kN působí nad podporou a uprostřed pole.

a) případ, kdy je osamělé břemeno uprostřed pole (KZ2)

α 0.15 (plošné profily, kategorie 2)

Lokální zatížení působí uprostřed pole, ve vzdálenosti od nejbližší podpory větší než je $1.5h_w$ ($1.5 \cdot 92.5 = 139$ mm) a proto je součinitel α uvažován pro kategorii 2.

$$|V_{Ed1}| \quad 0.82 \text{ kN}$$

$$|V_{Ed2}| \quad 0.59 \text{ kN}$$

$$\beta_v = \frac{|V_{Ed1}| - |V_{Ed2}|}{|V_{Ed1}| + |V_{Ed2}|} = \frac{0.82 - 0.59}{0.82 + 0.59} = 0.163 < 0.2$$

$$l_a = s_s \quad 100 \text{ mm}$$

$$r/t \quad 2$$

$$t \quad 1.25$$

$$f_{yb} \quad 320 \text{ MPa}$$

$$R_{w,Rd} = \alpha \cdot t^2 \cdot \sqrt{f_{yb} \cdot E} \cdot (1 - 0.1\sqrt{r/t}) \cdot [0.5 + \sqrt{0.02 \cdot l_a/t}] (2.4 + (\phi/90)^2) / \gamma_{M1} =$$
$$0.15 \cdot 1.252 \cdot \sqrt{320 \cdot 210\,000} \cdot (1 - 0.1\sqrt{2}) \cdot [0.5 + \sqrt{0.02 \cdot 100/1.25}] (2.4 + (69/90)^2) / 1.00 = 8\,699 \text{ N}$$

b) případ, kdy je osamělé břemeno nad podporou

α 0.075 (plošné profily, kategorie 1)

Lokální zatížení působí nad podporou, ve vzdálenosti od nejbližší podpory menší než je $1.5h_w$ ($1.5 \cdot 92.5 = 139$ mm) a proto je součinitel α uvažován pro kategorii 1.

$$l_a \quad 10 \text{ mm}$$

$$r/t \quad 2$$

$$t \quad 1.25$$

$$f_{yb} \quad 320 \text{ MPa}$$

$$R_{w,Rd} = \alpha \cdot t^2 \cdot \sqrt{f_{yb} \cdot E} \cdot (1 - 0.1\sqrt{r/t}) \cdot [0.5 + \sqrt{0.02 \cdot l_a/t}] (2.4 + (\phi/90)^2) / \gamma_M =$$
$$0.075 \cdot 1.252 \cdot \sqrt{320 \cdot 210\,000} \cdot (1 - 0.1\sqrt{2}) \cdot [0.5 + \sqrt{0.02 \cdot 10/1.25}] (2.4 + (69/90)^2) / 1.00 = 2\,218 \text{ N}$$

4. posouzení

a) případ, kdy je osamělé břemeno uprostřed pole (KZ2)

$R_{w,Rd}$	8.70 kN		
F_{Ed}	1.5 kN	$R_{w,Rd} > F_{Ed}$	17.24%
		vyhovuje	

b) případ, kdy je osamělé břemeno nad podporou

$R_{w,Rd}$	2.22 kN		
F_{Ed}	1.5 kN	$R_{w,Rd} > F_{Ed}$	67.63%
		vyhovuje	

Kombinace tahu a ohybu

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1$$

a) KZ1

$N_{t,Rd}$	58.57 kN
M_{Rd}	1.138 kNm
N_{Ed}	0.50 kN
M_{Ed}	0.64 kNm
	0.57 vyhovuje

b) KZ2

$N_{t,Rd}$	58.57 kN
M_{Rd}	1.044 kNm
N_{Ed}	0.26 kN
M_{Ed}	0.22 kNm
	0.22 vyhovuje

Kombinace tlaku a ohybu

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1$$

a) KZ2

$N_{c,Rd}$	47.65 kN
M_{Rd}	1.044 kNm
N_{Ed}	0.26 kN
M_{Ed}	0.22 kNm
	0.22 vyhovuje

b) KZ1

$N_{c,Rd}$	57.87 kN
M_{Rd}	1.138 kNm
N_{Ed}	0.31 kN
M_{Ed}	0.64 kNm

0.57 vyhovuje

Kombinace smykové síly, osových sil a ohybového momentu

Tato kombinace se neposuzuje, protože pro všechny možné případy platí rovnice $V_{Ed} < 0.5 V_{w,Rd}$.

Kombinace ohybového momentu a lokálního zatížení

$$\frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1.25$$

a) případ, kdy je osamělé břemeno uprostřed pole (KZ2)

$R_{w,Rd}$	8.70 kN
M_{Rd}	1.044 kNm
F_{Ed}	1.5 kN
M_{Ed}	0.224 kNm

0.387 vyhovuje

30.95%

b) případ, kdy je osamělé břemeno nad podporou (KZ3)

$R_{w,Rd}$	2.22 kN
M_{Rd}	1.138 kNm
F_{Ed}	1.5 kN
M_{Ed}	0.639 kNm

1.238 vyhovuje

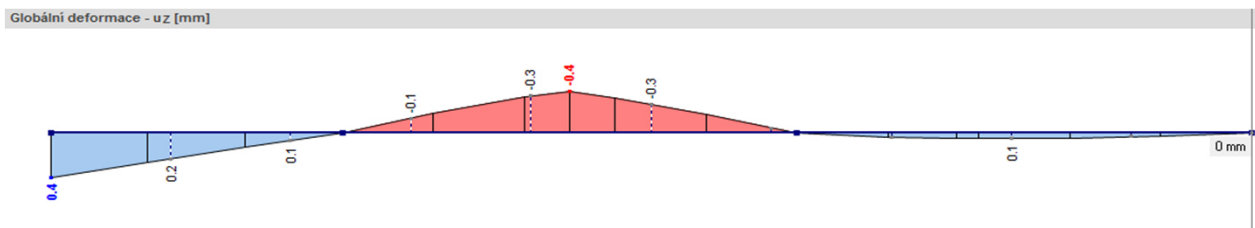
99.04%

3.2.4 Mezní stav použitelnosti

Podle ČSN EN 1993-1-1 a ČSN EN 1993-1-3

Výpočet průhybu je proveden ve studentské verzi programu RFEM 5.01 od společnosti Dlubal Software s.r.o. Jako moment setrvačnosti je zadána menší z hodnot I_{eff} ($1.74\text{E}05$ a $2.15\text{E}05$), tedy $I_{\text{eff}} = 1.74\text{E}05 \text{ mm}^4$.

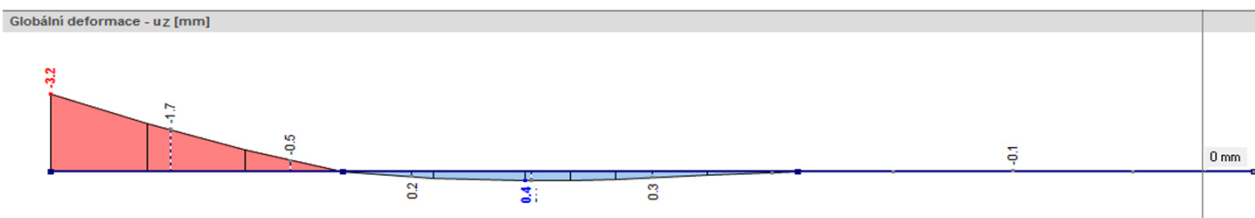
a) maximální hodnota průhybu uprostřed pole



KZ ZS1 + 0.6*ZS7 + ZS10 (charakteristická kombinace)

u_{max}	0.4 mm		
L	700 mm	délka pole	
u_{lim}	3.89 mm	$u_{\text{lim}} = L/180$	vyhovuje

b) maximální hodnota průhybu na převislém konci



KZ ZS1 + 0.6*ZS6 + ZS8 (charakteristická kombinace)

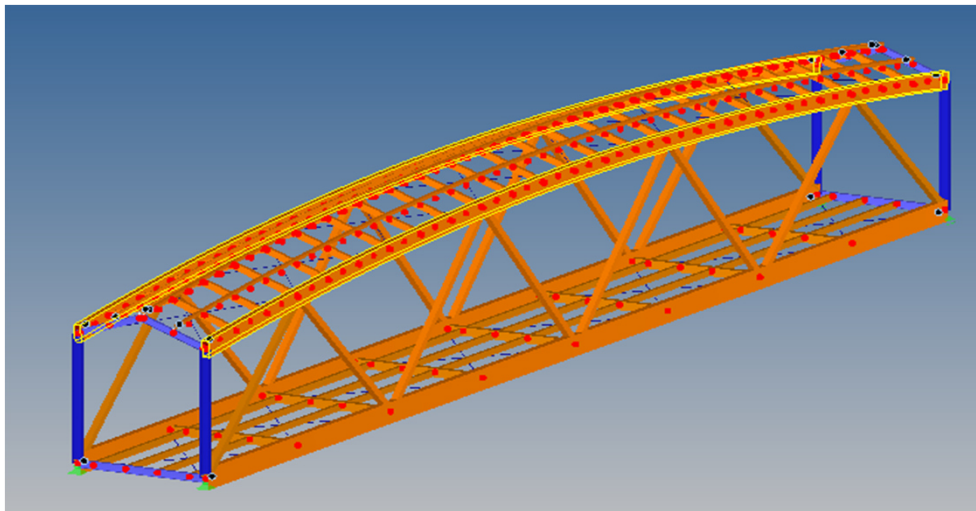
u_{max}	3.2 mm		
L	900 mm	pro konzolu platí $L = 2 * L_{\text{konzoly}}$	
u_{lim}	5.00	$u_{\text{lim}} = L/180$	vyhovuje

3.3 Horní pás příhradového nosníku (2ks)

Je proveden z lepeného lamelového dřeva třídy GL 24h

3.3.1 Poloha v konstrukci, zatížení, výpočet a vnitřní síly

Umístění horních pásů v prostorové příhradové konstrukci



Zatěžovací stavy, kombinace zatížení a výpočet

Zatěžovací stavy

Platí pro celou příhradovou konstrukci stejné.

Kombinace zatížení

Pro mezní stav únosnosti se uvažuje kombinace 6.10a a 6.10b.

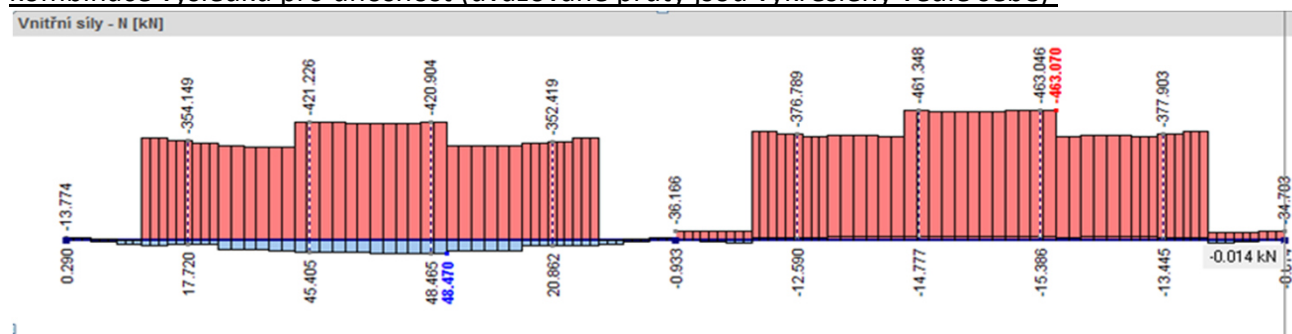
U mezního stavu použitelnosti se pro okamžitý průhyb používá charakteristická kombinace a pro konečný průhyb kvazistálá kombinace s příslušným součinitelem k_{def} .

Výpočet

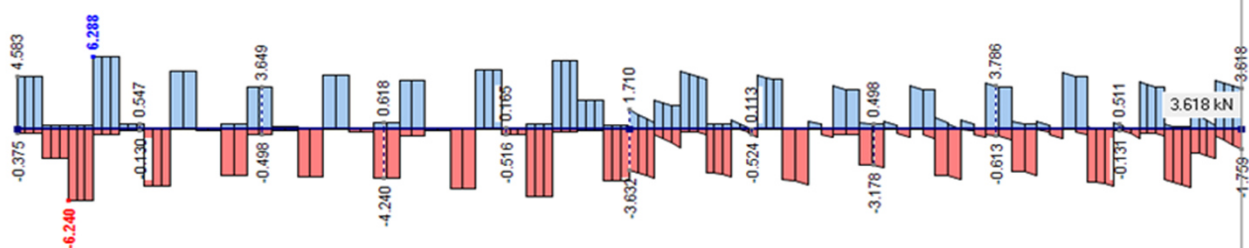
Analýza konstrukce je provedena ve studentské verzi programu RFEM 5.01 od společnosti Dlubal Software s.r.o. Metoda analýzy je podle I.řádu (geometricky lineární výpočet). Jsou vypočteny přetvoření a účinky zatížení pro jednotlivé zatěžovací stavy a kombinace. Kombinace zatížení jsou dále uvažovány pro kombinaci výsledků zahrnující maximální a minimální hodnoty ze všech kombinací zatížení. Ta je přehledně vykreslena po délce konstrukce.

Výsledky výpočtu

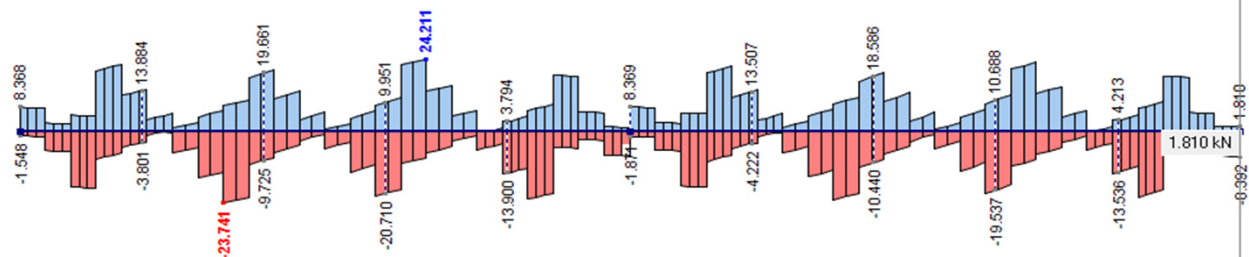
kombinace výsledků pro únosnost (uvažované pruty jsou vykresleny vedle sebe)



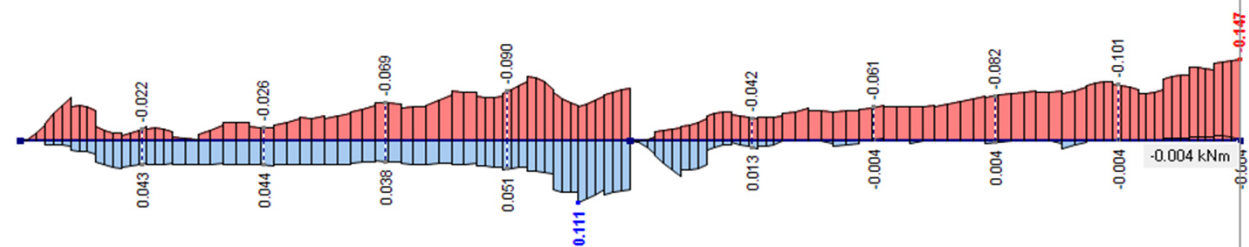
Vnitřní síly - V_y [kN]



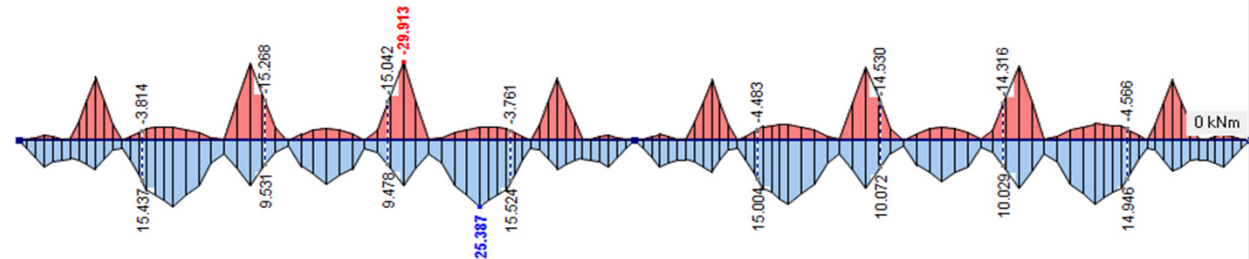
Vnitřní síly - V_z [kN]



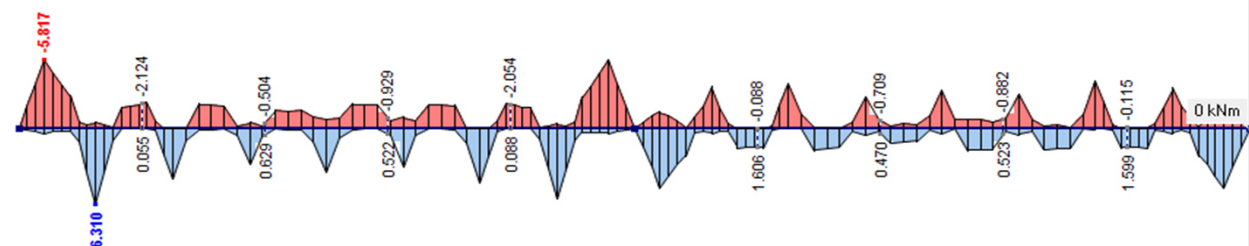
Vnitřní síly - M_T [kNm]



Vnitřní síly - M_y [kNm]



Vnitřní síly - M_z [kNm]



odpovídající vnitřní síly maximálním hodnotám

Místo x [m]		Síly [kN]			Momenty [kNm]			
		N	V_y	V_z	M_T	M_y	M_z	
18.795	Min N	-463.070	0.633	0.037	-0.052	-0.860	-0.772	KZ 452

Místo x [m]		N	Síly [kN] V _y	V _z	M _T	Momenty [kNm] M _y	M _z	
18.795	Max N	48.470	-1.950	1.351	-0.068	2.839	1.296	KZ 155

Místo x [m]		N	Síly [kN] V _y	V _z	M _T	Momenty [kNm] M _y	M _z	
18.795	Min M _y	-265.240	-4.150	-19.226	-0.005	-29.913	3.196	KZ 296
3.776	Max M _z	6.525	-6.114	4.082	0.006	6.915	6.310	KZ 274

STR KZ155	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS15	STR KZ296	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS3 + 0.9*ZS11
STR KZ274	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS15 + 0.6*ZS17		
STR KZ452	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 0.75*ZS3 + 0.9*ZS13 + 1.5*ZS17		

tabulka návrhových vnitřních síl

		tlak N _{Ed, odp}	tah N _{Ed, odp}	ohyb y M _{Ed, odp}	ohyb z M _{Ed, odp}	
N _{max}	463 kN (tlak)	-	-	0.86	0.77	KZ 452
N _{max}	48 kN (tah)	-	-	2.84	1.30	KZ 155
V _{y, max}	6.2 kN					
V _{z, max}	24.2 kN					
M _{T, max}	0.14 kNm					
M _{y, max}	29.9 kNm (záporný)	265.00	0	-	3.20	KZ 296
M _{z, max}	6.3 kNm (kladný)	0	6.53	6.92	-	KZ 274

3.3.2 Výpočet návrhových hodnot pevností a průřezových charakteristik

Pevnostní a tuhostní vlastnosti materiálu v charakteristických hodnotách

Třída pevnosti		GL 24h
Pevnostní vlastnosti [MPa]		
Ohyb	f _{m,k}	24
Tah II s vlákny	f _{t,0,k}	19.2
Tah ⊥ k vláknům	f _{t,90,k}	0.5
Tlak II s vlákny	f _{c,0,k}	24
Tlak ⊥ k vláknům	f _{c,90,k}	2.5
Smyk	f _{v,k}	3.5
Tuhostní vlastnosti [GPa]		
Průměrná hodnota modulu pružnosti II s vlákny	E _{0,mean}	11.5
5% kvantil modulu pružnosti II s vlákny	E _{0.05}	9.6
Průměrná hodnota modulu pružnosti ⊥ k vláknům	E _{90,mean}	0.3
Průměrná hodnota modulu pružnosti ve smyku	G _{mean}	0.65
Hustota [kg/m³]		
Hustota	ρ _k	385
Průměrná hodnota hustoty	ρ _{mean}	420

Zatížení a vlivy prostředí

Třída trvání zatížení

zatížení	třída trvání zatížení
vlastní tíha	stálé
ostatní stálé	stálé
sníh	krátkodobé
vítr	krátkodobé
dav lidí	krátkodobé

Třída provozu

Horní pás je pod střechou a nebude docházet ke kontaktu s vodou.
Třída provozu je proto 2.

Součinitele potřebné pro návrhové hodnoty pevností a tuhostí

Modifikační součinitele pevnosti pro třídy provozu a třídy trvání zatížení

a) modifikační součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti

k_{mod} 0.9 (lepené lamelové dřevo, třída provozu 2, krátkodobé zat.)

b) součinitel zvětšující únosnost v ohybu $f_{m,k}$

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0.1} \right. \quad \left. 1.1 \right\} \quad \text{vzorec pro lepené lamelové dřevo}$$

$$h = 320 \text{ mm}$$

$$k_{h,y} = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0.1} \right. \quad \left. 1.1 \right\} = \min \left\{ \left(\frac{600}{320} \right)^{0.1} \right. \quad \left. 1.1 \right\} = 1.06 \quad (\text{ohyb kolem osy } y)$$

$$b = 220 \text{ mm}$$

$$k_{h,z} = \min \left\{ \left(\frac{600}{b} \right)^{0.1} \right. \quad \left. 1.1 \right\} = \min \left\{ \left(\frac{600}{220} \right)^{0.1} \right. \quad \left. 1.1 \right\} = 1.10 \quad (\text{ohyb kolem osy } z)$$

c) součinitel zvětšující únosnost v tahu II s vlákny $f_{t,0,k}$

$$h = 320 \text{ mm}$$

h ... maximální rozměr průřezu

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0.1} \right. \quad \left. 1.1 \right\} = \min \left\{ \left(\frac{600}{320} \right)^{0.1} \right. \quad \left. 1.1 \right\} = 1.06$$

Modifikační součinitel deformace pro třídy provozu - součinitel deformace

k_{def} 0.8 (lepené lamelové dřevo, třída provozu 2)

Výpočet návrhových pevnostních a tuhostních vlastností materiálu

návrhové hodnoty pevnostních vlastností materiálu

$$X_d = k_{\text{mod}} \frac{X_k}{\gamma_M}$$

dílčí součinitel vlastnosti materiálu

γ_M

1.25 pro lepené lamelové dřevo

$$f_{m,y,d} = k_{\text{mod}} * k_{h,y} * f_{m,k} / \gamma_M = 0.9 * 1.06 * 24 / 1.25 = 18.40 \text{ MPa}$$

$$f_{m,z,d} = k_{\text{mod}} * k_{h,z} * f_{m,k} / \gamma_M = 0.9 * 1.10 * 24 / 1.25 = 19.01 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{\text{mod}} * k_h * f_{t,0,k} / \gamma_M = 0.9 * 1.06 * 19.2 / 1.25 = 14.72 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,d} = k_{\text{mod}} * f_{t,90,k} / \gamma_M = 0.9 * 0.5 / 1.25 = 0.36 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{\text{mod}} * f_{c,0,k} / \gamma_M = 0.9 * 24 / 1.25 = 17.28 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,d} = k_{\text{mod}} * f_{c,90,k} / \gamma_M = 0.9 * 2.5 / 1.25 = 1.80 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} * f_{v,k} / \gamma_M = 0.9 * 3.5 / 1.25 = 2.52 \text{ MPa}$$

návrhové hodnoty tuhostních vlastností materiálu

$$E_{0,d} = E_{0,\text{mean}} / \gamma_M = 11.5 / 1.25 = 9.20 \text{ MPa}$$

$$E_{90,d} = E_{90,\text{mean}} / \gamma_M = 0.3 / 1.25 = 0.24 \text{ MPa}$$

$$G_d = G_{\text{mean}} / \gamma_M = 0.65 / 1.25 = 0.52 \text{ MPa}$$

$$E_d = \frac{E_{\text{mean}}}{\gamma_M}$$

$$G_d = \frac{G_{\text{mean}}}{\gamma_M}$$

Průřezové charakteristiky

$$h = 320 \text{ mm}$$

výška průřezu

$$b = 220 \text{ mm}$$

šířka průřezu

$$A = h * b = 320 * 220 = 70\,400 \text{ mm}^2$$

plocha průřezu

$$A_{\text{net}} = 52\,480 \text{ mm}^2$$

oslabená plocha

$$W_y = \frac{1}{6} b h^2 = \frac{1}{6} * 220 * 320^2 = 3.75 \text{E}+06 \text{ mm}^3$$

průřezový modul

$$W_z = \frac{1}{6} h b^2 = \frac{1}{6} * 320 * 220^2 = 2.58 \text{E}+06 \text{ mm}^3$$

$$I_y = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} * 220 * 320^3 = 6.01 \text{E}+08 \text{ mm}^4$$

moment setrvačnosti

$$I_z = \frac{1}{12} h b^3 = \frac{1}{12} * 320 * 220^3 = 2.84 \text{E}+08 \text{ mm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{6.01 \text{E}+08}{70\,400}} = 92.38 \text{ mm}$$

poloměr setrvačnosti

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{2.84 \text{E}+08}{70\,400}} = 63.51 \text{ mm}$$

3.3.3 Mezní stav únosnosti

Podle ČSN EN 1995-1-1.

Tah rovnoběžně s vlákny

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

$f_{t,0,d}$ návrhová pevnost v tahu podél vláken

$\sigma_{t,0,d}$ návrhové napětí v tahu podél vláken

a) maximální tah

N_{Ed} 48 kN

$$\sigma_{t,0,d} = N_{Ed} / A_{net} = 48\,000 / 52\,480 = 0.91 \text{ MPa}$$

$\sigma_{t,0,d} < f_{t,0,d}$	0.91	<	14.72	vyhovuje	6.21%
------------------------------	------	---	-------	----------	-------

Vzpěrná únosnost

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} \leq 1 \quad \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \leq 1$$

$f_{c,0,d}$ návrhová pevnost v tlaku podél vláken

$\sigma_{c,0,d}$ návrhové napětí v tlaku podél vláken

vzpěrné délky

$L_{cr,y}$ 7500 mm vzdálenost diagonál

$L_{cr,z}$ 1250 mm vzdálenost kroků

štíhlost prutu λ

$$\lambda_y = L_{cr,y} / i_y = 7\,500 / 92.38 = 81.2$$

$$\lambda_z = L_{cr,z} / i_z = 1\,250 / 63.51 = 19.7$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0.05}}} = \frac{81.2}{\pi} \sqrt{\frac{24}{9\,600}} = 1.29$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0.05}}} = \frac{19.7}{\pi} \sqrt{\frac{24}{9\,600}} = 0.31$$

> 0.3 ... vyhovuje

β_c

0.1 pro lepené lamelové dřevo

$$k_y = 0.5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2) = 0.5 * (1 + 0.1 * (1.29 - 0.3) + 1.29^2) = 1.38$$

$$k_z = 0.5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2) = 0.5 * (1 + 0.1 * (0.31 - 0.3) + 0.31^2) = 0.55$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1.38 + \sqrt{1.38^2 - 1.29^2}} = 0.53$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{0.55 + \sqrt{0.55^2 - 0.31^2}} = 1.00$$

a) maximální tlak

$$N_{Ed} = 463 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed} / A = 463\,000 / 70\,400 = 6.58 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} = \frac{6.58}{0.53 * 17.28} = 0.72 < 1 \quad \text{vyhovuje} \quad 71.61\%$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} = \frac{6.58}{1.00 * 17.28} = 0.38 < 1 \quad \text{vyhovuje} \quad 38.12\%$$

Příčná a torzní stabilita v kombinaci se vzpěrem

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} * f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \leq 1$$

$\sigma_{m,d}$ návrhové napětí v ohybu

$\sigma_{c,d}$ návrhové napětí v tlaku

$f_{c,0,d}$ návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny

a) pro návrhové momenty $M_{y,Ed}$

$$l_{ef} = 0.9 * L_{cr,z} = 0.9 * 1\,250 = 1\,125 \text{ mm}$$

l_{ef} účinná délka

kritické napětí v ohybu $\sigma_{m,crit}$

vypočtené podle klasické teorie stability s hodnotami 5% kvantilu tuhosti

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0.78 * b^2}{h * l_{ef}} * E_{0.05} = \frac{0.78 * 220^2}{320 * 1\,125} * 9\,600 = 1\,006.7 \text{ MPa}$$

poměrná štíhlost v ohybu $\lambda_{rel,m}$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24 * 1.06}{1\,006.7}} = 0.159$$

součinitel k_{crit}

$$k_{crit} = 1 \text{ pro } \lambda_{rel,m} < 0.75$$

výběr na základě lambda

a) maximální ohybový moment kolem osy y a odpovídající tlaková síla

$$M_{Ed} \quad 29.9 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = M_{Ed} / W_y = 29.9 \cdot 10^6 / 3.75 \cdot 10^6 = 7.96 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} \quad 265 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed} / A = 265\,000 / 70\,400 = 3.76 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \left(\frac{7.96}{1 \cdot 18.40} \right)^2 + \frac{3.76}{1.00 \cdot 17.28} = 0.41 \leq 1$$

vyhovuje

40.54%

b) maximální tlaková síla a odpovídající ohybový moment kolem osy y

$$M_{Ed} \quad 0.86 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = M_{Ed} / W_y = 0.86 \cdot 10^6 / 3.75 \cdot 10^6 = 0.23 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} \quad 463 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed} / A = 463\,000 / 70\,400 = 6.58 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \left(\frac{0.23}{1 \cdot 18.40} \right)^2 + \frac{6.58}{1.00 \cdot 17.28} = 0.38 \leq 1$$

vyhovuje

38.13%

b) pro návrhové momenty $M_{z,Ed}$

$$l_{ef} = 0.9 \cdot L_{cr,y} + 2b = 0.9 \cdot 7500 + 2 \cdot 220 = 7\,190 \text{ mm}$$

Délka je zvětšena o dvojnásobek rozměru, který je ve směru ohybu, protože v tomto směru působí zatížení od větru přímo na prut.

$$l_{ef} \quad \text{účinná délka}$$

kritické napětí v ohybu $\sigma_{m,crit}$

vypočtené podle klasické teorie stability s hodnotami 5% kvantilu tuhosti

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0.78 \cdot h^2}{b \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = \frac{0.78 \cdot 320^2}{220 \cdot 7\,190} \cdot 9\,600 = 484.7 \text{ MPa}$$

poměrná štíhlost v ohybu $\lambda_{rel,m}$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24 \cdot 1.10}{484.7}} = 0.233$$

součinitel k_{crit}

$$k_{crit} = 1 \text{ pro } \lambda_{rel,m} < 0.75$$

a) maximální ohybový moment kolem osy z a odpovídající tlaková síla

$$M_{Ed} = 6.3 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = M_{Ed} / W_z = 6.3 \cdot 10^6 / 2.58 \cdot 10^6 = 2.44 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed} / A = 0 / 70\,400 = 0 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = \left(\frac{2.44}{1 \cdot 19.01} \right)^2 + \frac{0}{0.53 \cdot 17.28} = 0.02 \leq 1$$

vyhovuje

1.65%

b) maximální tlaková síla a odpovídající ohybový moment kolem osy z

$$M_{Ed} = 0.772 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = M_{Ed} / W_z = 0.772 \cdot 10^6 / 2.58 \cdot 10^6 = 0.30 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 463 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed} / A = 463\,000 / 70\,400 = 6.58 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = \left(\frac{0.30}{1 \cdot 19.01} \right)^2 + \frac{6.58}{0.53 \cdot 17.28} = 0.72 \leq 1$$

vyhovuje

71.63%

Kombinace ohybu a osového tahu

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{kombinace 1 (K1)}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{kombinace 2 (K2)}$$

součinitel k_m

0.7 pro obdélníkové průřezy

		$\sigma_{t,0,d}$ [MPa]	$\sigma_{m,y,d}$ [MPa]	$\sigma_{m,z,d}$ [MPa]
a) kombinace pro $N_{Ed,max}$ (tah)				
N_{Ed} [kN]	48	0.91	-	-
$M_{y,Ed}$ [kNm]	2.84	-	0.76	-
$M_{z,Ed}$ [kNm]	1.30	-	-	0.50
b) kombinace pro $M_{y,Ed,max}$				
N_{Ed} [kN]	0.00	0.00	-	-
$M_{y,Ed}$ [kNm]	29.90	-	7.96	-
$M_{z,Ed}$ [kNm]	3.20	-	-	1.24

c) kombinace pro $M_{z,Ed,max}$

N_{Ed} [kN]	6.53	0.12	-	-
$M_{y,Ed}$ [kNm]	6.92	-	1.84	-
$M_{z,Ed}$ [kNm]	6.30	-	-	2.44

	K1	K2
a	0.122	0.117
b	0.478	0.368
c	0.198	0.207

všechny hodnoty < 1 ... vyhovuje

47.84%

Kombinace ohybu a vzpěru

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{kombinace 1 (K1)}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{kombinace 2 (K2)}$$

součinitel k_m

0.7 pro obdélníkové průřezy

		$\sigma_{c,0,d}$ [MPa]	$\sigma_{m,y,d}$ [MPa]	$\sigma_{m,z,d}$ [MPa]
a) kombinace pro $N_{Ed,max}$ (tlak)				
N_{Ed} [kN]	463	6.58	-	-
$M_{y,Ed}$ [kNm]	0.86	-	0.23	-
$M_{z,Ed}$ [kNm]	0.77	-	-	0.30

b) kombinace pro $M_{y,Ed,max}$

N_{Ed} [kN]	265	3.76	-	-
$M_{y,Ed}$ [kNm]	29.90	-	7.96	-
$M_{z,Ed}$ [kNm]	3.20	-	-	1.24

c) kombinace pro $M_{z,Ed,max}$

N_{Ed} [kN]	0.00	0.00	-	-
$M_{y,Ed}$ [kNm]	6.92	-	1.84	-
$M_{z,Ed}$ [kNm]	6.30	-	-	2.44

	K1	K2
a	0.740	0.741
b	0.888	0.778
c	0.190	0.198

všechny hodnoty < 1 ... vyhovuje

88.82%

Zakřivený nosník

Zakřivený nosník má oblast zvanou vrcholovou část, která se vyskytuje nad zakřivenou částí nosníku. V případě horního pásu prostorové příhradové soustavy je tato oblast po celé délce prutu.

1. Posouzení napětí v ohybu

Ve vrcholové části mají napětí v ohybu splňovat následující podmínku.

$$\sigma_{m,d} \leq k_r * f_{m,d}$$

k_r součinitel zohledňující snížení pevnosti způsobené ohybem lamel během výroby
 $\sigma_{m,d}$ napětí v ohybu ve vrcholu

součinitel k_1

α_{ap} úhel sklonu náběhu ve středu vrcholové oblasti
 α_{ap} 0 ° pro zakřivený nosník

r_{in} vnitřní poloměr
 r_{in} 112 840 mm

h_{ap} výška nosníku ve vrcholu
 $h_{ap} = h$ 320 mm

$$k_1 = 1 + 1.4 * \operatorname{tg} \alpha_{ap} + 5.4 * \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 1 + 1.4 * \operatorname{tg} 0 + 5.4 * \operatorname{tg}^2 0 = 1$$

$$k_2 = 0.35 - 8 * \operatorname{tg} \alpha_{ap} = 0.35 - 8 * \operatorname{tg} 0 = 0.35$$

$$k_3 = 0.6 + 8.3 * \operatorname{tg} \alpha_{ap} - 7.8 * \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 0.6 + 8.3 * \operatorname{tg} 0 - 7.8 * \operatorname{tg}^2 0 = 0.6$$

$$k_4 = 6 * \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 6 * \operatorname{tg}^2 0 = 0$$

$$r = r_{in} + 0.5 * h_{ap} = 112\,840 + 0.5 * 320 = 113\,000 \text{ mm}$$

$$k_1 = k_1 + k_2 * \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_3 * \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2 + k_4 * \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^3$$

$$k_1 = 1 + 0.35 * \left(\frac{320}{113\,000}\right) + 0.6 * \left(\frac{320}{113\,000}\right)^2 + 0 * \left(\frac{320}{113\,000}\right)^3 = 1.001$$

součinitel k_r

t tloušťka lamely
 t 40 mm tloušťka lamely se vyrábí mezi 6 - 45 mm
pro výšku 320 mm je běžná tloušťka 40 mm

$$r_{in} / t = 112\,840 / 40 = 2821$$

$k_r = 1$ pro poměr $r_{in}/t > 240$

k_r 1

napětí v ohybu ve vrcholu $\sigma_{m,d}$

$$M_{ap,d} \quad 29.90 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = k_l * \frac{6 * M_{ap,d}}{b * h_{ap}^2} = 1.001 * \frac{6 * 29.90 * 10^6}{220 * 320^2} = 7.97 \text{ MPa}$$

posouzení

$$\sigma_{m,d} \leq k_r * f_{m,d} = 1 * 18.40 = 18.40$$

$$7.97 < 18.40 \quad \text{vyhovuje} \quad 43.32\%$$

Napětí vychází stejně jako kdyby nosník nebyl zakřivený a proto se v části výpočtu příčné a torzní stability nosníku ponechá stávající vztah.

2. Posouzení napětí kolmo k vláknům v kombinaci se smykem

Napětí pro tuto kombinaci mají splňovat následující podmínku.

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} * k_{vol} * f_{t,90,d}} \leq 1$$

$\sigma_{t,90,d}$	návrhové napětí v tahu kolmo k vláknům
k_{dis}	součinitel zohledňující účinek rozdělení napětí ve vrcholové oblasti
k_{vol}	součinitel objemu

součinitel k_{dis}

$$k_{dis} \quad 1.4 \text{ pro zakřivené nosníky}$$

součinitel k_{vol}

V_0	referenční objem
V_0	0.01 m ³
L_s	délka střednice oblouku
L_s	30 089 mm

$$V_b \quad \text{celkový objem nosníku}$$
$$V_b = h_{ap} * b * L_s = 320 * 220 * 30\,089 = 2.12 \text{ m}^3$$

$$V \quad \text{namáhaný objem vrcholové části}$$
$$V = 2 * V_b / 3 = 2 * 2.12 / 3 = 1.41 \text{ m}^3$$

$$k_{vol} = (V_0 / V)^{0.2} = (0.01 / 1.41)^{0.2} = 0.34 \quad \text{pro lepené lamelové dřevo}$$

součinitel k_p

$$k_5 = 0.2 * \operatorname{tg} \alpha_{ap} = 0.2 * \operatorname{tg} 0 = 0$$

$$k_6 = 0.25 - 1.5 * \operatorname{tg} \alpha_{ap} + 2.6 * \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 0.25 - 1.5 * \operatorname{tg} 0 + 2.6 * \operatorname{tg}^2 0 = 0.25$$

$$k_7 = 2.1 * \operatorname{tg} \alpha_{ap} - 4 * \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 2.1 * \operatorname{tg} 0 - 4 * \operatorname{tg}^2 0 = 0$$

$$k_p = k_5 + k_6 * \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_7 * \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2 = 0 + 0.25 * \left(\frac{320}{113\,000}\right) + 0 * \left(\frac{320}{113\,000}\right)^2 = 0.0007$$

napětí $\sigma_{t,90,d}$

$$\sigma_{t,90,d} = k_p * \frac{6 * M_{ap,d}}{b * h_{ap}^2} = 0.0007 * \frac{6 * 29.90 * 10^6}{220 * 320^2} = 0.0056 \text{ MPa}$$

Napětí je zanedbatelné a proto se kombinace se smykem nebude uvažovat.

Smyk

$$f_{v,d} \quad 2.52 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} * \frac{V_{Ed}}{A_v}$$

maximální smyková síla

$$V_{Ed} \quad 24.2 \text{ kN}$$

$$A_v = A \quad 70400 \text{ mm}^2$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} * \frac{V_{Ed}}{A_v} = \frac{3}{2} * \frac{24\,200}{70\,400} = 0.52 \text{ MPa}$$

$$\tau_d < f_{v,d} \quad 0.52 < 2.52 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje} \quad 20.46\%$$

3.3.4 Mezní stav použitelnosti

Podle ČSN EN 1995-1-1 (7.2 - Mezní hodnoty průhybů nosníků, 2.2.3 - Mezní stavy použitelnosti)

limitní hodnoty průhybu

$$L \quad 30\,000 \text{ mm}$$

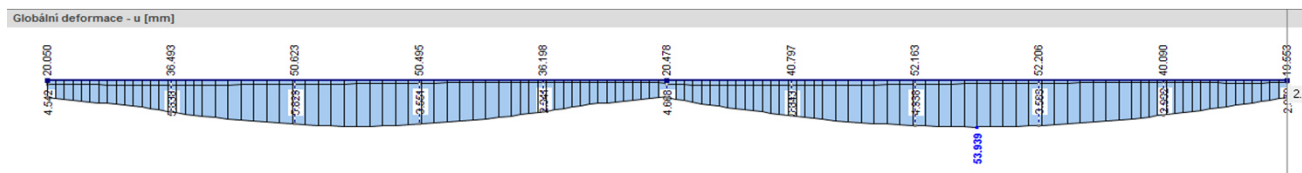
$$L/300 \quad 100 \text{ mm} \quad \text{pro okamžitý průhyb } u_{inst}$$

$$L/250 \quad 120 \text{ mm} \quad \text{pro konečný průhyb } u_{fin}$$

poznámka: protože prvek je bez nadvýšení, pro jednoduchost píší místo $u_{net,fin} - u_{fin}$.

1. Okamžitý průhyb

kombinace výsledků charakteristické kombinace



posouzení

$u_{inst} < L/300$ 53.94 < 100.0 mm vyhovuje

2. Konečný průhyb

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q1} + u_{fin,Qi}$$

$$u_{fin,G} = u_{inst,G} * (1 + k_{def}) \quad \text{stálé zatížení}$$

$$u_{fin,Q,1} = u_{inst,Q,1} * (1 + \psi_{2,1} * k_{def})$$

$$u_{fin,Q,i} = u_{inst,Q,i} * (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} * k_{def})$$

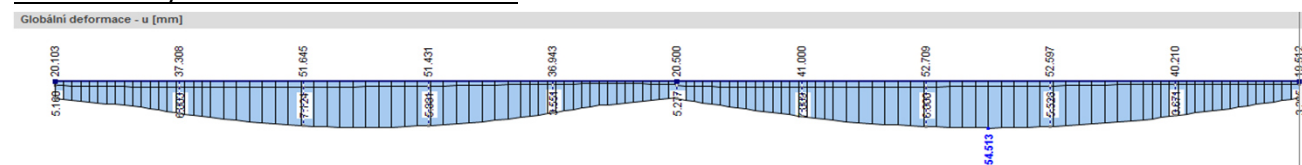
$$k_{def} = 0.8$$

Kvazistálá kombinace zatížení v programu RFEM v sobě výše uvedené vztahy zahrnuje.

MSP - kvazistálá

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j}(1 + k_{def}) + P + Q_{k,1}(1 + \psi_{2,1}k_{def}) + \sum_{i > 1} Q_{k,i}(\psi_{0,i} + \psi_{2,i}k_{def})$$

kombinace výsledků kvazistálé kombinace



posouzení

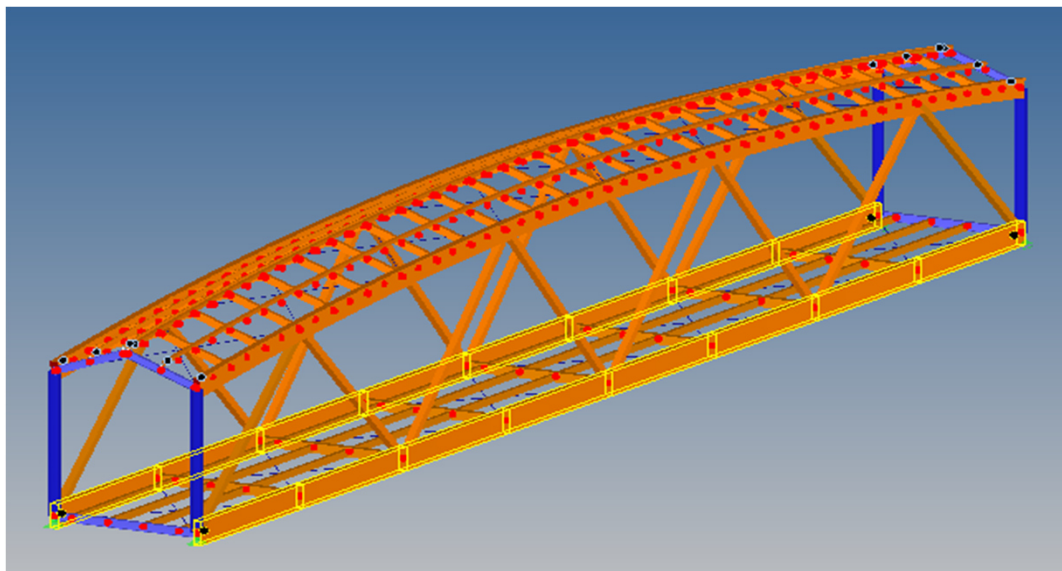
$u_{fin} < L/250$ 54.51 < 120.0 mm vyhovuje

3.4 Spodní pás příhradového nosníku (2ks)

Je proveden z lepeného lamelového dřeva třídy GL 24h

3.4.1 Poloha v konstrukci, zatížení, výpočet a vnitřní síly

Umístění spodních pásů v prostorové příhradové konstrukci



Zatěžovací stavy, kombinace zatížení a výpočet

Zatěžovací stavy

Platí pro celou příhradovou konstrukci stejné.

Kombinace zatížení

Pro mezní stav únosnosti se uvažuje kombinace 6.10a a 6.10b.

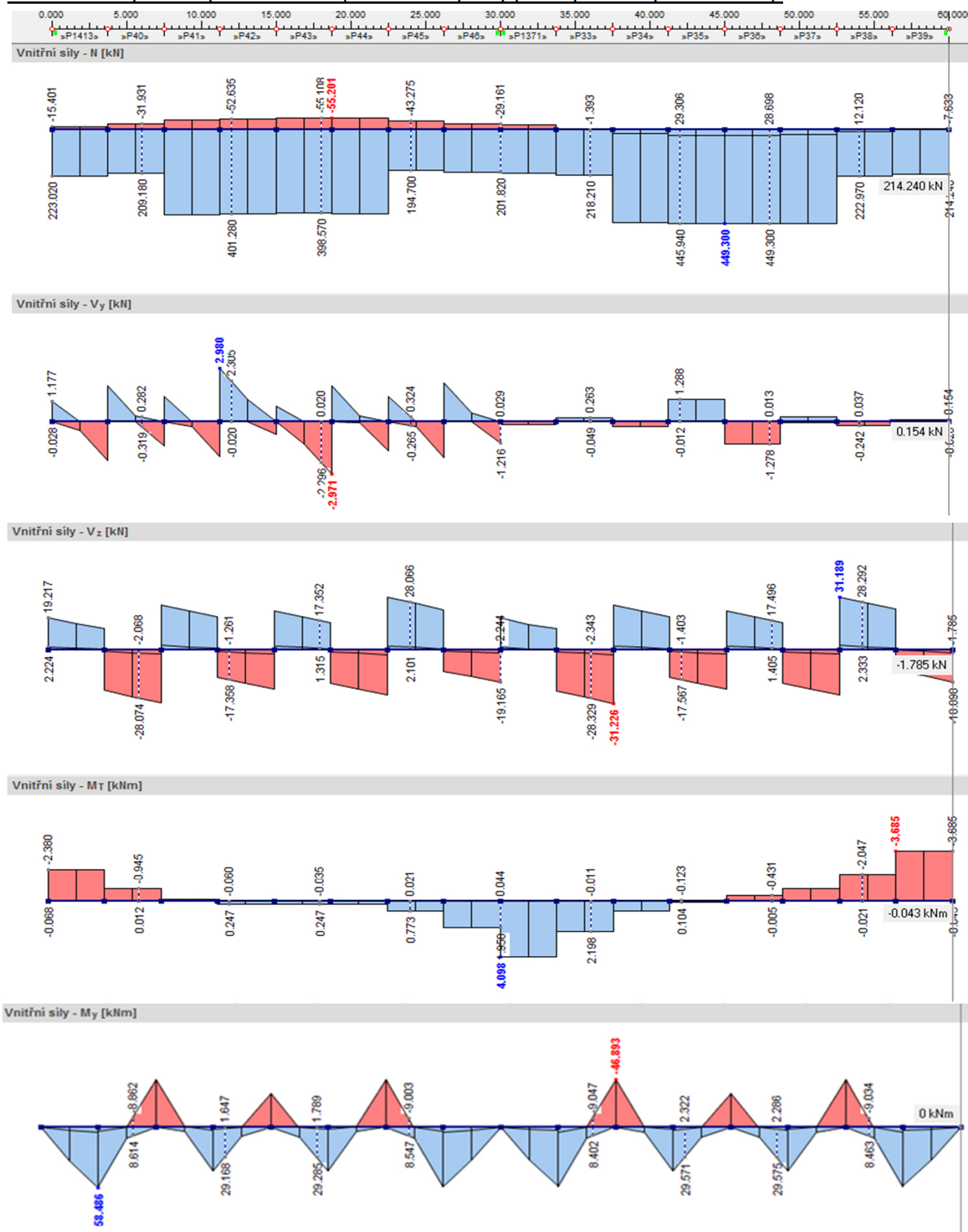
U mezního stavu použitelnosti se pro okamžitý průhyb používá charakteristická kombinace a pro konečný průhyb kvazistálá kombinace s příslušným součinitelem k_{def} .

Výpočet

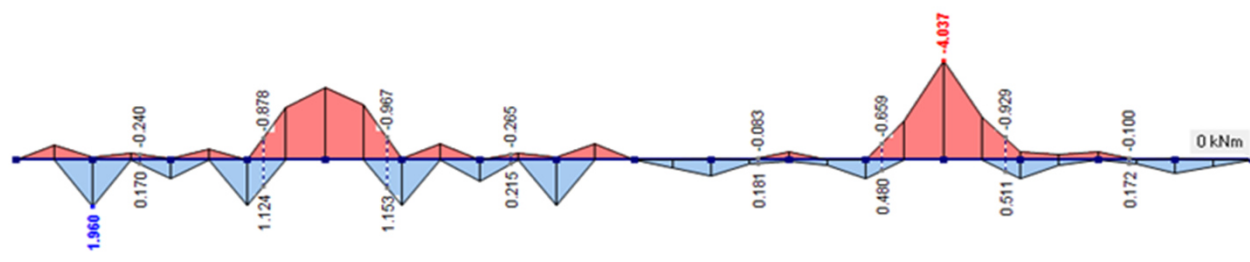
Analýza konstrukce je provedena ve studentské verzi programu RFEM 5.01 od společnosti Dlubal Software s.r.o. Metoda analýzy je podle I.řádu (geometricky lineární výpočet). Jsou vypočteny přetvoření a účinky zatížení pro jednotlivé zatěžovací stavy a kombinace. Kombinace zatížení jsou dále uvažovány pro kombinaci výsledků zahrnující maximální a minimální hodnoty ze všech kombinací zatížení. Ta je přehledně vykreslena po délce konstrukce.

Výsledky výpočtu

kombinace výsledků pro únosnost (uvažované pruty jsou vykresleny vedle sebe)



Vnitřní síly - M_z [kNm]



odpovídající vnitřní síly maximálním hodnotám

Místo x [m]		N	Síly [kN] V_y	V_z	M_T	Momenty [kNm] M_y	M_z	
0.000	Min N	-55.201	1.796	-1.556	0.176	2.836	1.279	KZ 154
Místo x [m]		N	Síly [kN] V_y	V_z	M_T	Momenty [kNm] M_y	M_z	
0.000	Max N	449.300	-0.534	23.098	-0.233	-30.215	-1.689	KZ 440
Místo x [m]		N	Síly [kN] V_y	V_z	M_T	Momenty [kNm] M_y	M_z	
3.750	Max M_y	223.020	-1.331	11.975	-1.419	58.486	1.193	KZ 440
Místo x [m]		N	Síly [kN] V_y	V_z	M_T	Momenty [kNm] M_y	M_z	
3.750	Min M_z	116.850	1.288	-3.041	-0.041	-3.398	-4.037	KZ 186

STR KZ154 | $1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS14$

STR KZ186 | $1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS5 + 1.5 \cdot ZS15$

STR KZ440 | $1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS3 + 0.9 \cdot ZS11 + 1.5 \cdot ZS17$

tabulka návrhových vnitřních síl

		tlak $N_{Ed, odp}$	tah $N_{Ed, odp}$	ohyb y $M_{Ed, odp}$	ohyb z $M_{Ed, odp}$	
N_{max}	55.2 kN (tlak)	-	-	2.84	1.28	KZ 154
N_{max}	449.3 kN (tah)	-	-	30.22	1.69	KZ 440
$V_{y, max}$	3 kN					
$V_{z, max}$	31.2 kN					
$M_{T, max}$	4.1 kNm					
$M_{y, max}$	58.5 kNm	0	223.02	-	1.19	KZ 440
$M_{z, max}$	4 kNm	0	116.85	4.04	-	KZ 186

3.4.2 Výpočet návrhových hodnot pevností a průřezových charakteristik

Pevnostní a tuhostní vlastnosti materiálu v charakteristických hodnotách

Třída pevnosti		GL 24h
Pevnostní vlastnosti [MPa]		
Ohyb	$f_{m,k}$	24
Tah II s vlákny	$f_{t,0,k}$	19.2
Tah \perp k vláknům	$f_{t,90,k}$	0.5
Tlak II s vlákny	$f_{c,0,k}$	24
Tlak \perp k vláknům	$f_{c,90,k}$	2.5
Smyk	$f_{v,k}$	3.5
Tuhostní vlastnosti [GPa]		
Průměrná hodnota modulu pružnosti II s vlákny	$E_{0,mean}$	11.5
5% kvantil modulu pružnosti II s vlákny	$E_{0.05}$	9.6
Průměrná hodnota modulu pružnosti \perp k vláknům	$E_{90,mean}$	0.3
Průměrná hodnota modulu pružnosti ve smyku	G_{mean}	0.65
Hustota [kg/m³]		
Hustota	ρ_k	385
Průměrná hodnota hustoty	ρ_{mean}	420

Zatížení a vlivy prostředí

Třída trvání zatížení

zatížení	třída trvání zatížení
vlastní tíha	stálé
ostatní stálé	stálé
sníh	krátkodobé
vítr	krátkodobé
dav lidí	krátkodobé

Třída provozu

Spodní pás je blízko hladiny vody a není zesponu chráněný. Dále může docházet k drobnému navátí sněhu v zimním období, protože střecha chrání hlavně horní část konstrukce.

Třída provozu je proto 3.

Součinitele potřebné pro návrhové hodnoty pevností a tuhostí

Modifikační součinitele pevnosti pro třídy provozu a třídy trvání zatížení

a) modifikační součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti

k_{mod} 0.7 (lepené lamelové dřevo, třída provozu 3, krátkodobé zat.)

b) součinitel zvětšující únosnost v ohybu $f_{m,k}$

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0.1} \right. \quad \left. \frac{1.1}{1.1} \right\} \quad \text{vzorec pro lepené lamelové dřevo}$$

$$h = 440 \text{ mm}$$

$$k_{h,y} = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0.1} \right. \quad \left. \frac{1.1}{1.1} \right\} = \min \left\{ \left(\frac{600}{440} \right)^{0.1} \right. \quad \left. \frac{1.1}{1.1} \right\} = 1.03 \quad (\text{ohyb kolem osy } y)$$

$$b = 220 \text{ mm}$$

$$k_{h,z} = \min \left\{ \left(\frac{600}{b} \right)^{0.1} \right. \quad \left. \frac{1.1}{1.1} \right\} = \min \left\{ \left(\frac{600}{220} \right)^{0.1} \right. \quad \left. \frac{1.1}{1.1} \right\} = 1.10 \quad (\text{ohyb kolem osy } z)$$

c) součinitel zvětšující únosnost v tahu II s vlákny $f_{t,0,k}$

$$h = 440 \text{ mm}$$

h ... maximální rozměr průřezu

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0.1} \right. \quad \left. \frac{1.1}{1.1} \right\} = \min \left\{ \left(\frac{600}{440} \right)^{0.1} \right. \quad \left. \frac{1.1}{1.1} \right\} = 1.03$$

Modifikační součinitel deformace pro třídy provozu - součinitel deformace

k_{def} 2 (lepené lamelové dřevo, třída provozu 3)

Výpočet návrhových pevnostních a tuhostních vlastností materiálu

návrhové hodnoty pevnostních vlastností materiálu

$$X_d = k_{\text{mod}} \frac{X_k}{\gamma_M}$$

dílčí součinitel vlastnosti materiálu

γ_M 1.25 pro lepené lamelové dřevo

$$f_{m,y,d} = k_{\text{mod}} * k_{h,y} * f_{m,k} / \gamma_M = 0.7 * 1.03 * 24 / 1.25 = 13.86 \text{ MPa}$$

$$f_{m,z,d} = k_{\text{mod}} * k_{h,z} * f_{m,k} / \gamma_M = 0.7 * 1.10 * 24 / 1.25 = 14.78 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{\text{mod}} * k_h * f_{t,0,k} / \gamma_M = 0.7 * 1.03 * 19.2 / 1.25 = 11.09 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,d} = k_{\text{mod}} * f_{t,90,k} / \gamma_M = 0.7 * 0.5 / 1.25 = 0.28 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{\text{mod}} * f_{c,0,k} / \gamma_M = 0.7 * 24 / 1.25 = 13.44 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,d} = k_{\text{mod}} * f_{c,90,k} / \gamma_M = 0.7 * 2.5 / 1.25 = 1.40 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} * f_{v,k} / \gamma_M = 0.7 * 3.5 / 1.25 = 1.96 \text{ MPa}$$

návrhové hodnoty tuhostních vlastností materiálu

$$E_d = \frac{E_{\text{mean}}}{\gamma_M}$$

$$G_d = \frac{G_{\text{mean}}}{\gamma_M}$$

$$E_{0,d} = E_{0,\text{mean}} / \gamma_M = 11.5 / 1.25 = 9.20 \text{ MPa}$$

$$E_{90,d} = E_{90,\text{mean}} / \gamma_M = 0.3 / 1.25 = 0.24 \text{ MPa}$$

$$G_d = G_{\text{mean}} / \gamma_M = 0.65 / 1.25 = 0.52 \text{ MPa}$$

Průřezové charakteristiky

$$h = 440 \text{ mm}$$

výška průřezu

$$b = 220 \text{ mm}$$

šířka průřezu

$$A = h * b = 440 * 220 = 96\,800 \text{ mm}^2$$

plocha průřezu

$$A_{\text{net}} = 73\,800 \text{ mm}^2$$

oslabená plocha

$$W_y = \frac{1}{6} b h^2 = \frac{1}{6} * 220 * 440^2 = 7.10 \text{E}+06 \text{ mm}^3$$

průřezový modul

$$W_z = \frac{1}{6} h b^2 = \frac{1}{6} * 440 * 220^2 = 3.55 \text{E}+06 \text{ mm}^3$$

$$I_y = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} * 220 * 440^3 = 1.56 \text{E}+09 \text{ mm}^4$$

moment setrvačnosti

$$I_z = \frac{1}{12} h b^3 = \frac{1}{12} * 440 * 220^3 = 3.90 \text{E}+08 \text{ mm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1.56 \text{E}+09}{96\,800}} = 127.02 \text{ mm}$$

poloměr setrvačnosti

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{3.90 \text{E}+08}{96\,800}} = 63.51 \text{ mm}$$

3.4.3 Mezní stav únosnosti

Podle ČSN EN 1995-1-1.

Tah rovnoběžně s vlákny

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

$$f_{t,0,d} \quad \text{návrhová pevnost v tahu podél vláken}$$

$$\sigma_{t,0,d} \quad \text{návrhové napětí v tahu podél vláken}$$

a) maximální tah

$$N_{Ed} = 449.3 \text{ kN}$$

$$\sigma_{t,0,d} = N_{Ed} / A_{net} = 449\,300 / 73\,800 = 6.09 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t,0,d} < f_{t,0,d} \quad 6.09 < 11.09 \quad \text{vyhovuje} \quad 54.89\%$$

Vzpěrná únosnost

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} \leq 1 \quad \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \leq 1$$

$f_{c,0,d}$ návrhová pevnost v tlaku podél vláken

$\sigma_{c,0,d}$ návrhové napětí v tlaku podél vláken

vzpěrné délky

$L_{cr,y}$ 7500 mm vzdálenost diagonál

$L_{cr,z}$ 3750 mm vzdálenost příčníků

štíhlost prutu λ

$$\lambda_y = L_{cr,y} / i_y = 7\,500 / 127.02 = 59.05$$

$$\lambda_z = L_{cr,z} / i_z = 3\,750 / 63.51 = 59.05$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0.05}}} = \frac{59.05}{\pi} \sqrt{\frac{24}{9600}} = 0.94$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0.05}}} = \frac{59.05}{\pi} \sqrt{\frac{24}{9600}} = 0.94 > 0.3 \dots \text{vyhovuje}$$

β_c 0.1 pro lepené lamelové dřevo

$$k_y = 0.5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2) = 0.5 * (1 + 0.1 * (0.94 - 0.3) + 0.94^2) = 0.97$$

$$k_z = 0.5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2) = 0.5 * (1 + 0.1 * (0.94 - 0.3) + 0.94^2) = 0.97$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0.97 + \sqrt{0.97^2 - 0.94^2}} = 0.81$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{0.97 + \sqrt{0.97^2 - 0.94^2}} = 0.81$$

a) maximální tlak

$$N_{Ed} = 55.2 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed} / A = 55\,200 / 96\,800 = 0.57 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} = \frac{0.57}{0.81 * 13.44} = 0.05 < 1 \quad \text{vyhovuje} \quad 5.21\%$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} = \frac{0.57}{0.81 * 13.44} = 0.05 < 1 \quad \text{vyhovuje} \quad 5.21\%$$

Příčná a torzní stabilita v kombinaci se vzpěrem

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} * f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \leq 1$$

$\sigma_{m,d}$ návrhové napětí v ohybu

$\sigma_{c,d}$ návrhové napětí v tlaku

$f_{c,0,d}$ návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny

a) pro návrhové momenty $M_{y,Ed}$

$$l_{ef} = 0.9 * L_{cr,z} = 0.9 * 3\,750 = 3\,375 \text{ mm}$$

l_{ef} účinná délka

kritické napětí v ohybu $\sigma_{m,crit}$

vypočtené podle klasické teorie stability s hodnotami 5% kvantilu tuhosti

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0.78 * b^2}{h * l_{ef}} * E_{0.05} = \frac{0.78 * 220^2}{440 * 3\,375} * 9\,600 = 244.1 \text{ MPa}$$

poměrná štíhlost v ohybu $\lambda_{rel,m}$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24 * 1.03}{244.1}} = 0.318$$

součinitel k_{crit}

$$k_{crit} = 1 \text{ pro } \lambda_{rel,m} < 0.75$$

výběr na základě lambda

a) maximální ohybový moment kolem osy y

$$M_{Ed} = 58.5 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = M_{Ed} / W_y = 58.5 * 10^6 / 7.10 * 10^6 = 8.24 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} * f_{m,d} \quad 8.24 < 13.86 \quad \text{vyhovuje} \quad 59.44\%$$

b) maximální tlaková síla a odpovídající ohybový moment kolem osy y

$$M_{Ed} = 2.836 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = M_{Ed} / W_y = 2.836 \cdot 10^6 / 7.10 \cdot 10^6 = 0.40 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 55.2 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed} / A = 55 \cdot 1000 / 96 \cdot 800 = 0.57 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \left(\frac{0.40}{1 \cdot 13.86} \right)^2 + \frac{0.57}{0.81 \cdot 13.44} = 0.05 \leq 1 \quad \text{vyhovuje} \quad 5.29\%$$

b) pro návrhové momenty $M_{z,Ed}$

$$l_{ef} = 0.9 \cdot L_{cr,y} + 2b = 0.9 \cdot 7 \cdot 500 + 2 \cdot 220 = 7 \cdot 190 \text{ mm}$$

Délka je zvětšena o dvojnásobek rozměru, který je ve směru ohybu, protože v tomto směru působí zatížení od větru přímo na prut.

l_{ef} účinná délka

kritické napětí v ohybu $\sigma_{m,crit}$

vypočtené podle klasické teorie stability s hodnotami 5% kvantilu tuhosti

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0.78 \cdot h^2}{b \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = \frac{0.78 \cdot 440^2}{220 \cdot 7 \cdot 190} \cdot 9 \cdot 600 = 916.5 \text{ MPa}$$

poměrná štíhlost v ohybu $\lambda_{rel,m}$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24 \cdot 1.10}{916.5}} = 0.170$$

součinitel k_{crit}

$$k_{crit} = 1 \text{ pro } \lambda_{rel,m} < 0.75$$

výběr na základě lambda

a) maximální ohybový moment kolem osy z

$$M_{Ed} = 4 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = M_{Ed} / W_z = 4 \cdot 10^6 / 3.55 \cdot 10^6 = 1.13 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d} \quad 1.13 < 14.78 \quad \text{vyhovuje} \quad 7.62\%$$

b) maximální tlaková síla a odpovídající ohybový moment kolem osy z

$$M_{Ed} = 1.279 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = M_{Ed} / W_z = 1.279 \cdot 10^6 / 3.55 \cdot 10^6 = 0.36 \text{ MPa}$$

N_{Ed} 55.2 kN

$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed} / A = 55\,200 / 96\,800 = 0.57 \text{ MPa}$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} * f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} = \left(\frac{0.36}{1 * 14.78} \right)^2 + \frac{0.57}{0.81 * 13.44} = 0.05 \leq 1 \quad \text{vyhovuje} \quad 5.27\%$$

Kombinace ohybu a osového tahu

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{kombinace 1 (K1)}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{kombinace 2 (K2)}$$

součinitel k_m 0.7 pro obdélníkové průřezy

		$\sigma_{t,0,d}$ [MPa]	$\sigma_{m,y,d}$ [MPa]	$\sigma_{m,z,d}$ [MPa]
a) kombinace pro $N_{Ed,max}$ (tah)				
N_{Ed} [kN]	449.3	6.09	-	-
$M_{y,Ed}$ [kNm]	30.22	-	4.26	-
$M_{z,Ed}$ [kNm]	1.69	-	-	0.48

b) kombinace pro $M_{y,Ed,max}$				
N_{Ed} [kN]	223.02	3.02	-	-
$M_{y,Ed}$ [kNm]	58.50	-	8.24	-
$M_{z,Ed}$ [kNm]	1.19	-	-	0.34

c) kombinace pro $M_{z,Ed,max}$				
N_{Ed} [kN]	116.85	1.58	-	-
$M_{y,Ed}$ [kNm]	4.04	-	0.57	-
$M_{z,Ed}$ [kNm]	4.00	-	-	1.13

	K1	K2
a	0.878	0.796
b	0.883	0.711
c	0.237	0.248

všechny hodnoty < 1 ... vyhovuje

88.28%

Kombinace ohybu a vzpěru

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{kombinace 1 (K1)}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{kombinace 2 (K2)}$$

součinitel k_m

0.7 pro obdélníkové průřezy

		$\sigma_{c,0,d}$ [MPa]	$\sigma_{m,y,d}$ [MPa]	$\sigma_{m,z,d}$ [MPa]
kombinace pro $N_{Ed,max}$ (tlak)				
N_{Ed} [kN]	55.2	0.57	-	-
$M_{y,Ed}$ [kNm]	2.836	-	0.40	-
$M_{z,Ed}$ [kNm]	1.28	-	-	0.36

K1 **K2**
0.098 **0.097**
obě hodnoty < 1 ... vyhovuje

9.80%

Smyk

$f_{v,d}$ 1.96 MPa

$$\tau_d = \frac{3}{2} * \frac{V_{Ed}}{A_v}$$

maximální smyková síla

V_{Ed} 31.2 kN
 $A_v = A$ 96800 mm²

$$\tau_d = \frac{3}{2} * \frac{V_{Ed}}{A_v} = \frac{3}{2} * \frac{31\,200}{96\,800} = 0.48 \text{ MPa}$$

$\tau_d < f_{v,d}$ **0.48** < **1.96 MPa** vyhovuje 24.67%

Kroucení

$$\tau_{tor,d} \leq k_{shape} * f_{v,d}$$

$\tau_{tor,d}$ návrhové napětí ve smyku od kroucení
 k_{shape} součinitel závislý na tvaru průřezu

součinitel k_{shape}

$$h/b = 440 / 220 = 2$$

$$k_{shape} = \min(1 + 0.15 * h/b; 2) = \min(1 + 0.15 * 2; 2) = 1.3$$

napětí $\tau_{tor,d}$

$$k_{tor} = 0.246$$

Tab. Součinitel k_{tor}

h/b	1	1,2	1,5	2	3	5	10	>10
k_{tor}	0,208	0,219	0,231	0,246	0,267	0,291	0,313	0,333

zdroj:

http://www.prolignum.cz/fileadmin/prolignum/media.cz/7_Dimenzovani_prvku_drevenych_konstrukci_Petr_Kuklik.pdf

$$M_{tor,d} = M_{T,max} = 4.1 \text{ kNm}$$

$$\tau_{tor,d} = \frac{M_{tor,d}}{k_{tor} * h * b^2} = \frac{4.1 * 10^6}{0.246 * 440 * 220^2} = 0.78 \text{ MPa}$$

$$k_{shape} * f_{v,d} = 1.3 * 1.96 = 2.55 \text{ MPa}$$

posouzení na pevnost v kroucení

$$\tau_{tor,d} \leq k_{shape} * f_{v,d} \quad 0.78 < 2.55 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje} \quad 30.72\%$$

3.4.4 Mezní stav použitelnosti

Podle ČSN EN 1995-1-1 (7.2 - Mezní hodnoty průhybů nosníků, 2.2.3 - Mezní stavy použitelnosti)

limitní hodnoty průhybu

$$L = 30\,000 \text{ mm}$$

$$L/300 = 100 \text{ mm}$$

pro okamžitý průhyb u_{inst}

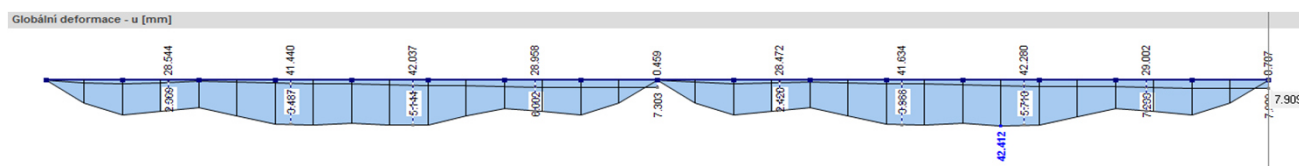
$$L/250 = 120 \text{ mm}$$

pro konečný průhyb u_{fin}

poznámka: protože prvek je bez nadvýšení, pro jednoduchost píše místo $u_{net,fin} - u_{fin}$.

1. Okamžitý průhyb

kombinace výsledků charakteristické kombinace



posouzení

$u_{\text{inst}} < L/300$ 42.41 < 100.0 mm vyhovuje

2. Konečný průhyb

$$u_{\text{fin}} = u_{\text{fin,G}} + u_{\text{fin,Q1}} + u_{\text{fin,Qi}}$$

$$u_{\text{fin,G}} = u_{\text{inst,G}} * (1 + k_{\text{def}}) \quad \text{stálé zatížení}$$

$$u_{\text{fin,Q,1}} = u_{\text{inst,Q,1}} * (1 + \psi_{2,1} * k_{\text{def}})$$

$$u_{\text{fin,Q,i}} = u_{\text{inst,Q,i}} * (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} * k_{\text{def}})$$

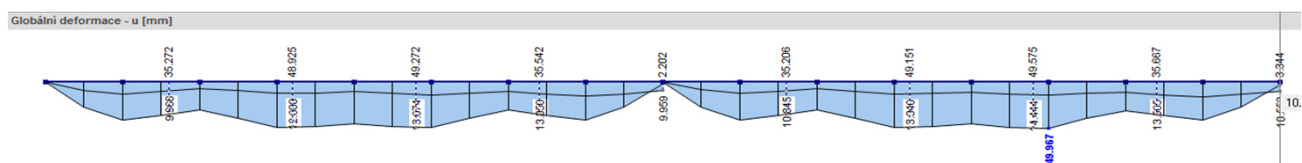
$$k_{\text{def}} \quad 2$$

Kvazistálá kombinace zatížení v programu RFEM v sobě výše uvedené vztahy zahrnuje.

MSP - kvazistálá

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j}(1 + k_{\text{def}}) + P + Q_{k,1}(1 + \psi_{2,1}k_{\text{def}}) + \sum_{i > 1} Q_{k,i}(\psi_{0,i} + \psi_{2,i}k_{\text{def}})$$

kombinace výsledků kvazistálé kombinace



posouzení

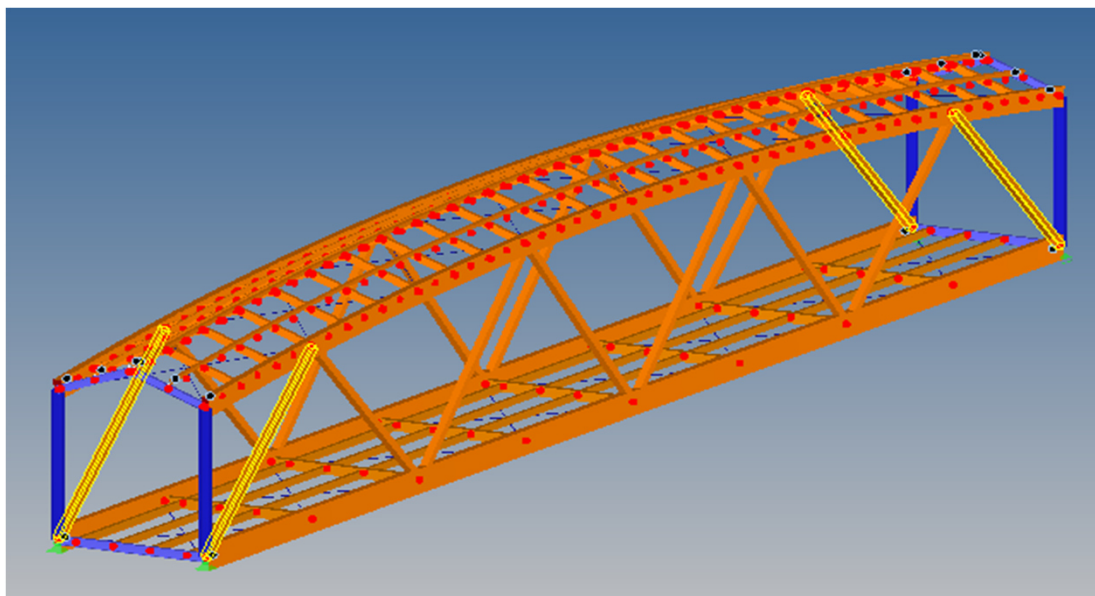
$u_{\text{fin}} < L/250$ 49.97 < 120.0 mm vyhovuje

3.5 Tlačená diagonála D1 (4ks)

Je provedena z lepeného lamelového dřeva třídy GL 24h

3.5.1 Poloha v konstrukci, zatížení, výpočet a vnitřní síly

Umístění diagonál D1 v prostorové příhradové konstrukci



Zatěžovací stavy, kombinace zatížení a výpočet

Zatěžovací stavy

Platí pro celou příhradovou konstrukci stejné.

Kombinace zatížení

Pro mezní stav únosnosti se uvažuje kombinace 6.10a a 6.10b.

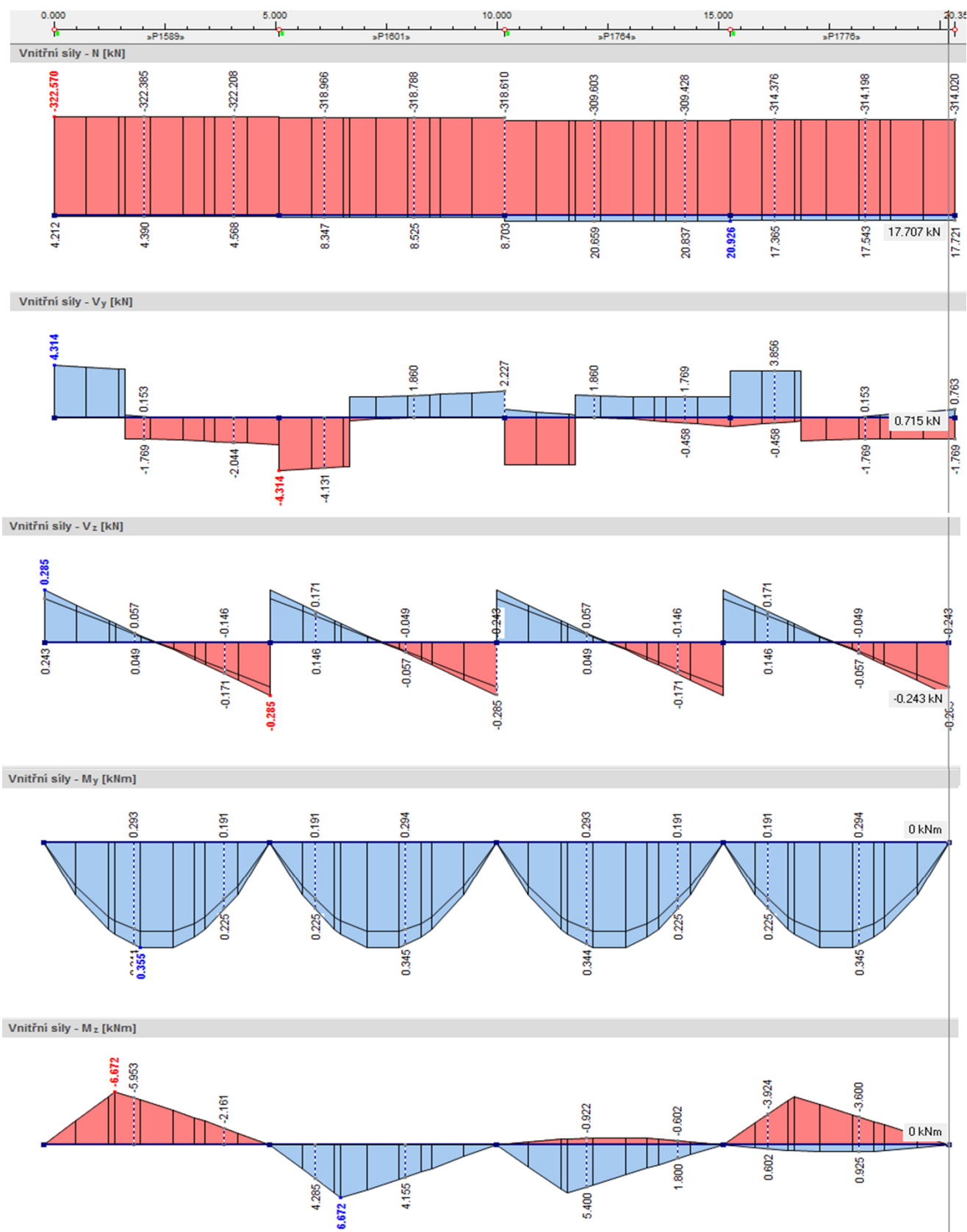
U mezního stavu použitelnosti se pro okamžitý průhyb používá charakteristická kombinace a pro konečný průhyb kvazistálá kombinace s příslušným součinitelem k_{def} .

Výpočet

Analýza konstrukce je provedena ve studentské verzi programu RFEM 5.01 od společnosti Dlubal Software s.r.o. Metoda analýzy je podle I.řádu (geometricky lineární výpočet). Jsou vypočteny přetvoření a účinky zatížení pro jednotlivé zatěžovací stavy a kombinace. Kombinace zatížení jsou dále uvažovány pro kombinaci výsledků zahrnující maximální a minimální hodnoty ze všech kombinací zatížení. Ta je přehledně vykreslena po délce konstrukce.

Výsledek výpočtu

kombinace výsledků pro únosnost (uvažované pruty jsou vykresleny vedle sebe)



odpovídající vnitřní síly maximálním hodnotám

Místo x [m]		N	Síly [kN] V _y	V _z	M _T	Momenty [kNm] M _y	M _z	
0.000	Min N	-322.570	0.458	0.243	0.000	0.000	0.000	KZ 440
5.088	Max N	20.926	-0.763	-0.243	0.000	0.000	0.000	KZ 154
2.181	Max M _y	45.471	0.000	0.041	0.000	0.355	0.000	KZ 1
1.600	Min M _z	-175.760	4.026	0.090	0.000	0.266	-6.672	KZ 389

STR KZ1	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2
STR KZ154	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS14
STR KZ389	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 0.9*ZS6 + 1.5*ZS18
STR KZ440	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 0.75*ZS3 + 0.9*ZS11 + 1.5*ZS17

tabulka návrhových vnitřních síl

		tlak N _{Ed, odp}	tah N _{Ed, odp}	ohyb y M _{Ed, odp}	ohyb z M _{Ed, odp}	
N _{max}	323 kN (tlak)	-	-	0	0	KZ 440
N _{max}	21 kN (tah)	-	-	0	0	KZ 154
V _{y, max}	4.3 kN					
V _{z, max}	0.3 kN					
M _{T, max}	0 kNm					
M _{y, max}	0.36 kNm	46	0	-	0	KZ 1
M _{z, max}	6.67 kNm	176	0	0.27	-	KZ 389

3.5.2 Výpočet návrhových hodnot pevností a průřezových charakteristik

Pevnostní a tuhostní vlastnosti materiálu v charakteristických hodnotách

Třída pevnosti		GL 24h
Pevnostní vlastnosti [MPa]		
Ohyb	f _{m, k}	24
Tah II s vlákný	f _{t, 0, k}	19.2
Tah ⊥ k vláknům	f _{t, 90, k}	0.5
Tlak II s vlákný	f _{c, 0, k}	24
Tlak ⊥ k vláknům	f _{c, 90, k}	2.5
Smyk	f _{v, k}	3.5
Tuhostní vlastnosti [GPa]		
Průměrná hodnota modulu pružnosti II s vlákný	E _{0, mean}	11.5

5% kvantil modulu pružnosti II s vlákny	$E_{0.05}$	9.6
Průměrná hodnota modulu pružnosti \perp k vláknům	$E_{90,mean}$	0.3
Průměrná hodnota modulu pružnosti ve smyku	G_{mean}	0.65
Hustota [kg/m^3]		
Hustota	ρ_k	385
Průměrná hodnota hustoty	ρ_{mean}	420

Zatížení a vlivy prostředí

Třída trvání zatížení

zatížení	třída trvání zatížení
vlastní tíha	stálé
ostatní stálé	stálé
sníh	krátkodobé
vítr	krátkodobé
dav lidí	krátkodobé

Třída provozu

Diagonály jsou pod střechou a nepředpokládá se vysoká vlhkost.
Třída provozu je 2.

Součinitele potřebné pro návrhové hodnoty pevností a tuhostí

Modifikační součinitele pevnosti pro třídy provozu a třídy trvání zatížení

a) modifikační součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti

k_{mod} 0.9 (lepené lamelové dřevo, třída provozu 2, krátkodobé zat.)

b) součinitel zvětšující únosnost v ohybu $f_{m,k}$

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0.1}, 1.1 \right\} \quad \text{vzorec pro lepené lamelové dřevo}$$

$h = 200 \text{ mm}$

$$k_{h,y} = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0.1}, 1.1 \right\} = \min \left\{ \left(\frac{600}{200} \right)^{0.1}, 1.1 \right\} = 1.10 \quad (\text{ohyb kolem osy } y)$$

$$b = 220 \text{ mm}$$

$$k_{h,z} = \min \left\{ \left(\frac{600}{b} \right)^{0.1} = \min \left\{ \left(\frac{600}{220} \right)^{0.1} = 1.10 \quad (\text{ohyb kolem osy } z)$$

c) součinitel zvětšující únosnost v tahu II s vlákny $f_{t,0,k}$

$$h = 220 \text{ mm}$$

h ... maximální rozměr průřezu

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0.1} = \min \left\{ \left(\frac{600}{220} \right)^{0.1} = 1.10$$

Modifikační součinitel deformace pro třídy provozu - součinitel deformace

k_{def} 0.8 (lepené lamelové dřevo, třída provozu 2)

Výpočet návrhových pevnostních a tuhostních vlastností materiálu

návrhové hodnoty pevnostních vlastností materiálu

$$X_d = k_{\text{mod}} \frac{X_k}{\gamma_M}$$

dílčí součinitel vlastnosti materiálu

γ_M 1.25 pro lepené lamelové dřevo

$$f_{m,y,d} = k_{\text{mod}} * k_{h,y} * f_{m,k} / \gamma_M = 0.9 * 1.10 * 24 / 1.25 = 19.01 \text{ MPa}$$

$$f_{m,z,d} = k_{\text{mod}} * k_{h,z} * f_{m,k} / \gamma_M = 0.9 * 1.10 * 24 / 1.25 = 19.01 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{\text{mod}} * k_h * f_{t,0,k} / \gamma_M = 0.9 * 1.10 * 19.2 / 1.25 = 15.21 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,d} = k_{\text{mod}} * f_{t,90,k} / \gamma_M = 0.9 * 0.5 / 1.25 = 0.36 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{\text{mod}} * f_{c,0,k} / \gamma_M = 0.9 * 24 / 1.25 = 17.28 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,d} = k_{\text{mod}} * f_{c,90,k} / \gamma_M = 0.9 * 2.5 / 1.25 = 1.80 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} * f_{v,k} / \gamma_M = 0.9 * 3.5 / 1.25 = 2.52 \text{ MPa}$$

návrhové hodnoty tuhostních vlastností materiálu

$$E_d = \frac{E_{\text{mean}}}{\gamma_M}$$

$$G_d = \frac{G_{\text{mean}}}{\gamma_M}$$

$$E_{0,d} = E_{0,\text{mean}} / \gamma_M = 11.5 / 1.25 = 9.20 \text{ MPa}$$

$$E_{90,d} = E_{90,\text{mean}} / \gamma_M = 0.3 / 1.25 = 0.24 \text{ MPa}$$

$$G_d = G_{\text{mean}} / \gamma_M = 0.65 / 1.25 = 0.52 \text{ MPa}$$

Průřezové charakteristiky

$$h = 200 \text{ mm}$$

výška průřezu

$$b = 220 \text{ mm}$$

šířka průřezu

$$A = h * b = 200 * 220 = 44\,000 \text{ mm}^2$$

plocha průřezu

$$A_{\text{net}} = 37\,720 \text{ mm}^2$$

oslabená plocha

$$W_y = \frac{1}{6} b h^2 = \frac{1}{6} * 220 * 200^2 = 1.47 \text{E}+06 \text{ mm}^3$$

průřezový modul

$$W_z = \frac{1}{6} h b^2 = \frac{1}{6} * 200 * 220^2 = 1.61 \text{E}+06 \text{ mm}^3$$

$$I_y = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} * 220 * 200^3 = 1.47 \text{E}+08 \text{ mm}^4$$

moment setrvačnosti

$$I_z = \frac{1}{12} h b^3 = \frac{1}{12} * 200 * 220^3 = 1.77 \text{E}+08 \text{ mm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1.47 \text{E}+08}{44\,000}} = 57.74 \text{ mm}$$

poloměr setrvačnosti

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{1.77 \text{E}+08}{44\,000}} = 63.51 \text{ mm}$$

3.5.3 Mezní stav únosnosti

Podle ČSN EN 1995-1-1.

Tah rovnoběžně s vlákny

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

$f_{t,0,d}$ návrhová pevnost v tahu podél vláken

$\sigma_{t,0,d}$ návrhové napětí v tahu podél vláken

a) maximální tah

$$N_{\text{Ed}} = 21 \text{ kN}$$

$$\sigma_{t,0,d} = N_{\text{Ed}} / A_{\text{net}} = 21\,000 / 44\,000 = 0.56 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t,0,d} < f_{t,0,d} \quad 0.56 < 15.21 \quad \text{vyhovuje} \quad 3.66\%$$

Vzpěrná únosnost

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} \leq 1 \quad \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \leq 1$$

$f_{c,0,d}$ návrhová pevnost v tlaku podél vláken

$\sigma_{c,0,d}$ návrhové napětí v tlaku podél vláken

vzpěrné délky

$L_{cr,y}$	5088 mm	teoretická délka diagonály
$L_{cr,z}$	5088 mm	teoretická délka diagonály

štíhlost prutu λ

$$\lambda_y = L_{cr,y} / i_y = 5\,088 / 57.74 = 88.13$$

$$\lambda_z = L_{cr,z} / i_z = 5\,088 / 63.51 = 80.12$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0.05}}} = \frac{88.13}{\pi} \sqrt{\frac{24}{9\,600}} = 1.40 > 0.3 \dots \text{vyhovuje}$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0.05}}} = \frac{80.12}{\pi} \sqrt{\frac{24}{9\,600}} = 1.28 > 0.3 \dots \text{vyhovuje}$$

$$\beta_c \quad 0.1 \text{ pro lepené lamelové dřevo}$$

$$k_y = 0.5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2) = 0.5 * (1 + 0.1 * (1.40 - 0.3) + 1.40^2) = 1.54$$

$$k_z = 0.5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2) = 0.5 * (1 + 0.1 * (1.28 - 0.3) + 1.28^2) = 1.36$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1.54 + \sqrt{1.54^2 - 1.40^2}} = 0.46$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1.36 + \sqrt{1.36^2 - 1.28^2}} = 0.54$$

a) maximální tlak

$$N_{Ed} \quad 323 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed} / A = 323\,000 / 44\,000 = 7.34 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} = \frac{7.34}{0.46 * 17.28} = 0.92 < 1 \quad \text{vyhovuje} \quad 92.25\%$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} = \frac{7.34}{0.54 * 17.28} = 0.78 < 1 \quad \text{vyhovuje} \quad 78.14\%$$

Příčná a torzní stabilita v kombinaci se vzpěrem

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} * f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \leq 1$$

$\sigma_{m,d}$	návrhové napětí v ohybu
$\sigma_{c,d}$	návrhové napětí v tlaku
$f_{c,0,d}$	návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny

a) pro návrhové momenty $M_{y,Ed}$

$$l_{ef} = 0.9 * L_{cr,z} = 0.9 * 5088 = 4579.2 \text{ mm}$$

l_{ef} účinná délka

kritické napětí v ohybu $\sigma_{m,crit}$

vypočtené podle klasické teorie stability s hodnotami 5% kvantilu tuhosti

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0.78 * b^2}{h * l_{ef}} * E_{0.05} = \frac{0.78 * 220^2}{200 * 4579.2} * 9600 = 395.7 \text{ MPa}$$

poměrná štíhlost v ohybu $\lambda_{rel,m}$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24 * 1.10}{395.7}} = 0.258$$

součinitel k_{crit}

$$k_{crit} = 1 \text{ pro } \lambda_{rel,m} < 0.75$$

výběr na základě lambda

maximální ohybový moment kolem osy y a odpovídající tlaková síla

$$M_{Ed} \quad 0.36 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = M_{Ed} / W_y = 0.36 * 10^6 / 1.47 * 10^6 = 0.25 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} \quad 46 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed} / A = 46000 / 44000 = 1.05 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} * f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} = \left(\frac{0.25}{1 * 19.01} \right)^2 + \frac{1.05}{0.54 * 17.28} = 0.11 \leq 1$$

vyhovuje

11.15%

b) pro návrhové momenty $M_{z,Ed}$

$$I_{ef} = 0.9 * L_{cr,y} + 2b = 0.9 * 5\,088 + 2 * 220 = 5\,019.2 \text{ mm}$$

Délka je zvětšena o dvojnásobek rozměru, který je ve směru ohybu, protože v tomto směru působí zatížení od větru přímo na prut.

I_{ef} účinná délka

kritické napětí v ohybu $\sigma_{m,crit}$

vypočtené podle klasické teorie stability s hodnotami 5% kvantilu tuhosti

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0.78 * h^2}{b * I_{ef}} * E_{0.05} = \frac{0.78 * 200^2}{220 * 5019.2} * 9\,600 = 271.2 \text{ MPa}$$

poměrná štíhlost v ohybu $\lambda_{rel,m}$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24 * 1.10}{271.2}} = 0.312$$

součinitel k_{crit}

$k_{crit} = 1$ pro $\lambda_{rel,m} < 0.75$

výběr na základě lambda

maximální ohybový moment kolem osy z a odpovídající tlaková síla

$$M_{Ed} \quad 6.67 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = M_{Ed} / W_z = 6.67 * 10^6 / 1.61 * 10^6 = 4.13 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} \quad 176 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed} / A = 176\,000 / 44\,000 = 4.00 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} * f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} = \left(\frac{4.13}{1 * 19.01} \right)^2 + \frac{17.28}{0.46 * 17.28} = 0.55 \leq 1 \quad \text{vyhovuje} \quad 55.00\%$$

Kombinace ohybu a vzpěru

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{kombinace 1 (K1)}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{kombinace 2 (K2)}$$

součinitel k_m 0.7 pro obdélníkové průřezy

		$\sigma_{c,0,d}$ [MPa]	$\sigma_{m,y,d}$ [MPa]	$\sigma_{m,z,d}$ [MPa]
kombinace pro $M_{z,Ed,max}$				
N_{ed} [kN]	176.00	4.00	-	-
$M_{y,Ed}$ [kNm]	0.27	-	0.18	-
$M_{z,Ed}$ [kNm]	6.67	-	-	4.13

K1
0.664
K2
0.727
obě hodnoty < 1 ... vyhovuje

72.69%

Smyk

$f_{v,d}$ 2.52 MPa

$$\tau_d = \frac{3}{2} * \frac{V_{Ed}}{A_v}$$

maximální smyková síla

V_{Ed} 4.3 kN
 $A_v = A$ 44000 mm²

$$\tau_d = \frac{3}{2} * \frac{V_{Ed}}{A_v} = \frac{3}{2} * \frac{4\,300}{44\,000} = 0.15 \text{ MPa}$$

$\tau_d < f_{v,d}$ **0.15** < **2.52 MPa** vyhovuje 5.82%

3.5.4 Mezní stav použitelnosti

Podle ČSN EN 1995-1-1 (7.2 - Mezní hodnoty průhybů nosníků, 2.2.3 - Mezní stavy použitelnosti)

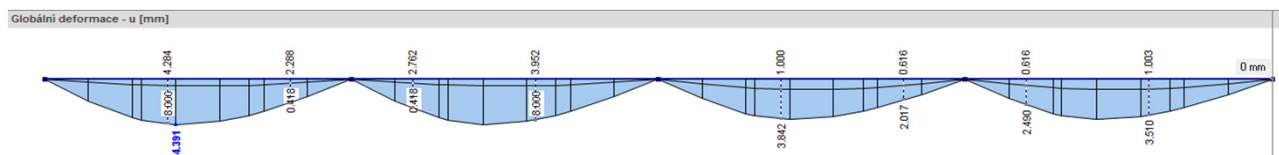
limitní hodnoty průhybu

L 5 088 mm
 $L/300$ 17.0 mm pro okamžitý průhyb u_{inst}
 $L/250$ 20.4 mm pro konečný průhyb u_{fin}

poznámka: protože prvek je bez nadvýšení, pro jednoduchost píše místo $u_{net,fin} - u_{fin}$.

1. Okamžitý průhyb

kombinace výsledků charakteristické kombinace



posouzení

$u_{inst} < L/300$ 4.39 < 17.0 mm vyhovuje

2. Konečný průhyb

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q1} + u_{fin,Qi}$$

$$u_{fin,G} = u_{inst,G} * (1 + k_{def}) \quad \text{stálé zatížení}$$

$$u_{fin,Q,1} = u_{inst,Q,1} * (1 + \psi_{2,1} * k_{def})$$

$$u_{fin,Q,i} = u_{inst,Q,i} * (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} * k_{def})$$

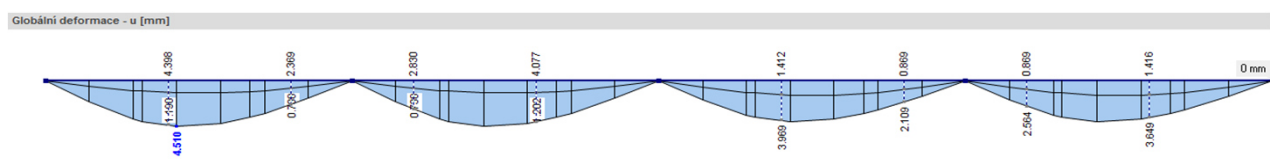
$$k_{def} \quad 0.8$$

Kvazistálá kombinace zatížení v programu RFEM v sobě výše uvedené vztahy zahrnuje.

MSP - kvazistálá

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j}(1 + k_{def}) + P + Q_{k,1}(1 + \psi_{2,1}k_{def}) + \sum_{i > 1} Q_{k,i}(\psi_{0,i} + \psi_{2,i}k_{def})$$

kombinace výsledků kvazistálé kombinace



posouzení

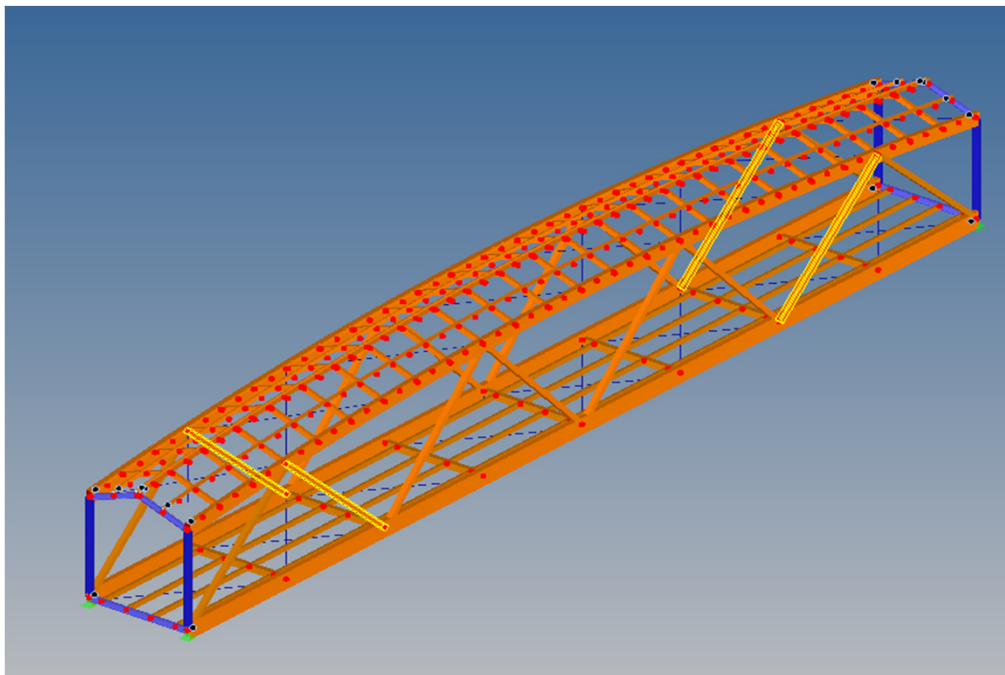
$u_{fin} < L/250$ 4.51 < 20.4 mm vyhovuje

3.6 Tažená diagonála D2 (4ks)

Je provedena z lepeného lamelového dřeva třídy GL 24h

3.6.1 Poloha v konstrukci, zatížení, výpočet a vnitřní síly

Umístění diagonál D2 v prostorové příhradové konstrukci



Zatěžovací stavy, kombinace zatížení a výpočet

Zatěžovací stavy

Platí pro celou příhradovou konstrukci stejné.

Kombinace zatížení

Pro mezní stav únosnosti se uvažuje kombinace 6.10a a 6.10b.

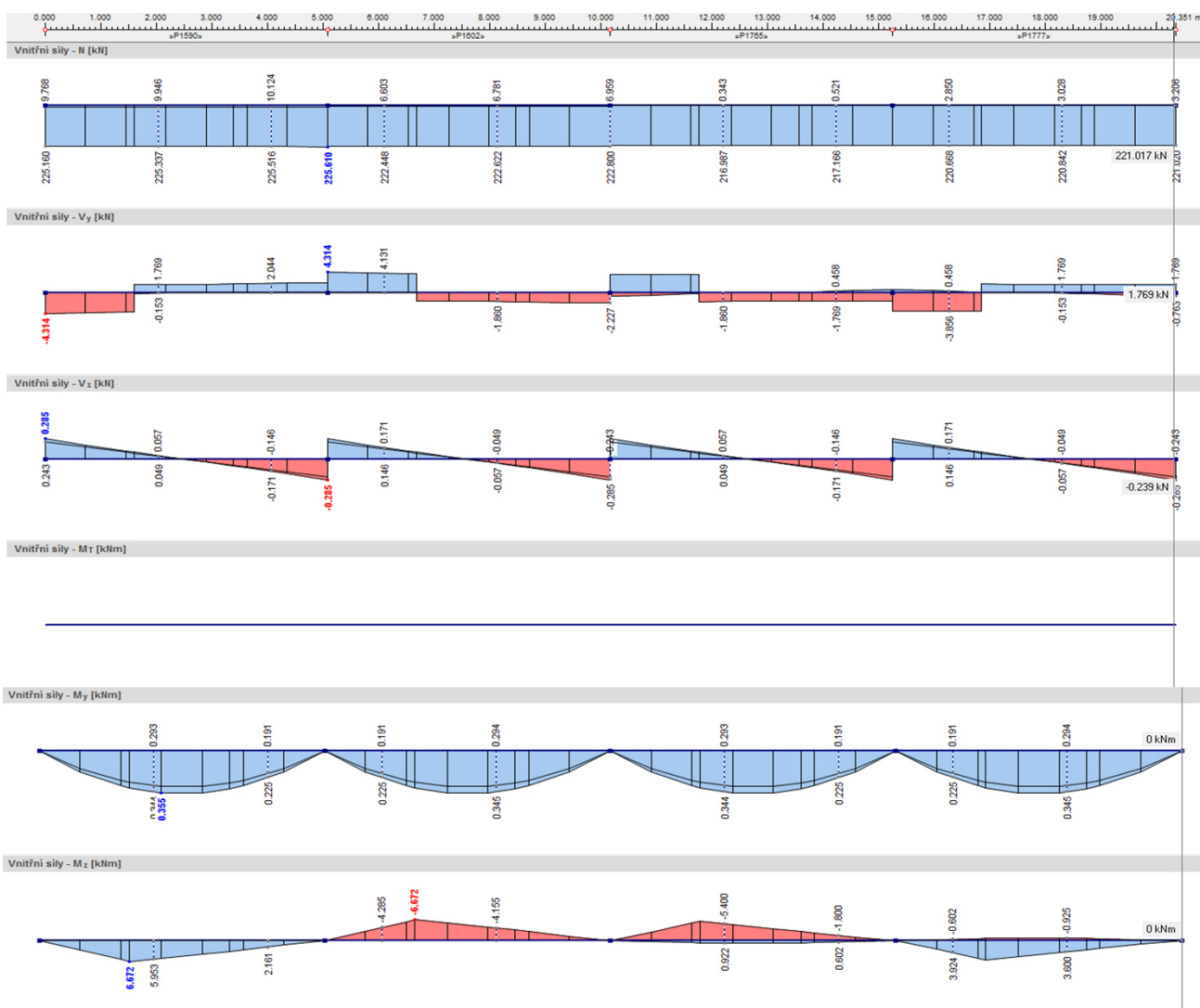
U mezního stavu použitelnosti se pro okamžitý průhyb používá charakteristická kombinace a pro konečný průhyb kvazistálá kombinace s příslušným součinitelem k_{def} .

Výpočet

Analýza konstrukce je provedena ve studentské verzi programu RFEM 5.01 od společnosti Dlubal Software s.r.o. Metoda analýzy je podle I.řádu (geometricky lineární výpočet). Jsou vypočteny přetvoření a účinky zatížení pro jednotlivé zatěžovací stavy a kombinace. Kombinace zatížení jsou dále uvažovány pro kombinaci výsledků zahrnující maximální a minimální hodnoty ze všech kombinací zatížení. Ta je přehledně vykreslena po délce konstrukce.

Výsledky výpočtu

kombinace výsledků pro únosnost (uvažované pruty jsou vykresleny vedle sebe)



odpovídající vnitřní síly maximálním hodnotám

Místo x [m]		N	Síly [kN] Vy	Vz	MT	Momenty [kNm] My	Mz	
5.088	Max N	225.610	0.458	-0.243	0.000	0.000	0.000	KZ 440
2.181	Max My	30.377	0.000	0.041	0.000	0.355	0.000	KZ 1
1.600	Max Mz	151.330	-4.026	0.090	0.000	0.266	6.672	KZ 389

STR KZ1 | 1.35*ZS1 + 1.35*ZS2

STR KZ389 | 1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 0.9*ZS6 + 1.5*ZS18

STR KZ440 | 1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 0.75*ZS3 + 0.9*ZS11 + 1.5*ZS17

tabulka návrhových vnitřních síl

		tlak $N_{Ed, odp}$	tah $N_{Ed, odp}$	ohyb y $M_{Ed, odp}$	ohyb z $M_{Ed, odp}$	
N_{max}	0 kN (tlak)	-	-	0	0	
N_{max}	225.61 kN (tah)	-	-	0	0	KZ 440
$V_{y, max}$	4.31 kN					
$V_{z, max}$	0.29 kN					
$M_{T, max}$	0 kNm					
$M_{y, max}$	0.36 kNm	0	30.38	-	0	KZ 1
$M_{z, max}$	6.67 kNm	0	151.33	0.27	-	KZ 389

3.6.2 Výpočet návrhových hodnot pevností a průřezových charakteristik

Pevnostní a tuhostní vlastnosti materiálu v charakteristických hodnotách

Třída pevnosti		GL 24h
Pevnostní vlastnosti [MPa]		
Ohyb	$f_{m, k}$	24
Tah II s vlákny	$f_{t, 0, k}$	19.2
Tah \perp k vláknům	$f_{t, 90, k}$	0.5
Tlak II s vlákny	$f_{c, 0, k}$	24
Tlak \perp k vláknům	$f_{c, 90, k}$	2.5
Smyk	$f_{v, k}$	3.5
Tuhostní vlastnosti [GPa]		
Průměrná hodnota modulu pružnosti II s vlákny	$E_{0, mean}$	11.5
5% kvantil modulu pružnosti II s vlákny	$E_{0.05}$	9.6
Průměrná hodnota modulu pružnosti \perp k vláknům	$E_{90, mean}$	0.3
Průměrná hodnota modulu pružnosti ve smyku	G_{mean}	0.65
Hustota [kg/m³]		
Hustota	ρ_k	385
Průměrná hodnota hustoty	ρ_{mean}	420

Zatížení a vlivy prostředí

Třída trvání zatížení

zatížení	třída trvání zatížení
vlastní tíha	stálé
ostatní stálé	stálé
sníh	krátkodobé
vítr	krátkodobé
dav lidí	krátkodobé

Třída provozu

Diagonály jsou pod střechou a nepředpokládá se vysoká vlhkost.
Třída provozu je 2.

Součinitele potřebné pro návrhové hodnoty pevností a tuhostí

Modifikační součinitele pevnosti pro třídy provozu a třídy trvání zatížení

a) modifikační součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti

k_{mod} 0.9 (lepené lamelové dřevo, třída provozu 2, krátkodobé zat.)

b) součinitel zvětšující únosnost v ohybu $f_{m,k}$

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0.1} \right. \quad \left. \begin{array}{l} 1.1 \\ \text{vzorec pro lepené lamelové dřevo} \end{array} \right.$$

$$h = 120 \text{ mm}$$

$$k_{h,y} = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0.1} \right. = \min \left\{ \left(\frac{600}{120} \right)^{0.1} = 1.10 \quad \left. \begin{array}{l} 1.1 \\ \text{(ohyb kolem osy y)} \end{array} \right.$$

$$b = 220 \text{ mm}$$

$$k_{h,z} = \min \left\{ \left(\frac{600}{b} \right)^{0.1} \right. = \min \left\{ \left(\frac{600}{220} \right)^{0.1} = 1.10 \quad \left. \begin{array}{l} 1.1 \\ \text{(ohyb kolem osy z)} \end{array} \right.$$

c) součinitel zvětšující únosnost v tahu II s vlákny $f_{t,0,k}$

$$h = 220 \text{ mm}$$

h ... maximální rozměr průřezu

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0.1} \right. = \min \left\{ \left(\frac{600}{220} \right)^{0.1} = 1.10 \quad \left. \begin{array}{l} 1.1 \end{array} \right.$$

Modifikační součinitel deformace pro třídy provozu - součinitel deformace

k_{def} 0.8 (lepené lamelové dřevo, třída provozu 2)

Výpočet návrhových pevnostních a tuhostních vlastností materiálu

návrhové hodnoty pevnostních vlastností materiálu

$$X_d = k_{mod} \frac{X_k}{\gamma_M}$$

dílčí součinitel vlastnosti materiálu

γ_M 1.25 pro lepené lamelové dřevo

$$f_{m,y,d} = k_{mod} * k_{h,y} * f_{m,k} / \gamma_M = 0.9 * 1.10 * 24 / 1.25 = 19.01 \text{ MPa}$$

$$f_{m,z,d} = k_{mod} * k_{h,z} * f_{m,k} / \gamma_M = 0.9 * 1.10 * 24 / 1.25 = 19.01 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} * k_h * f_{t,0,k} / \gamma_M = 0.9 * 1.10 * 19.2 / 1.25 = 15.21 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,d} = k_{mod} * f_{t,90,k} / \gamma_M = 0.9 * 0.5 / 1.25 = 0.36 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} * f_{c,0,k} / \gamma_M = 0.9 * 24 / 1.25 = 17.28 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,d} = k_{mod} * f_{c,90,k} / \gamma_M = 0.9 * 2.5 / 1.25 = 1.80 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} * f_{v,k} / \gamma_M = 0.9 * 3.5 / 1.25 = 2.52 \text{ MPa}$$

návrhové hodnoty tuhostních vlastností materiálu

$$E_{0,d} = E_{0,mean} / \gamma_M = 11.5 / 1.25 = 9.20 \text{ MPa}$$

$$E_{90,d} = E_{90,mean} / \gamma_M = 0.3 / 1.25 = 0.24 \text{ MPa}$$

$$G_d = G_{mean} / \gamma_M = 0.65 / 1.25 = 0.52 \text{ MPa}$$

$$E_d = \frac{E_{mean}}{\gamma_M}$$

$$G_d = \frac{G_{mean}}{\gamma_M}$$

Průřezové charakteristiky

$$h = 120 \text{ mm}$$

výška průřezu

$$b = 220 \text{ mm}$$

šířka průřezu

$$A = h * b = 120 * 220 = 26\,400 \text{ mm}^2$$

plocha průřezu

$$A_{net} = 22\,550 \text{ mm}^2$$

oslabená plocha

$$W_y = \frac{1}{6} b h^2 = \frac{1}{6} * 220 * 120^2 = 5.28E+05 \text{ mm}^3$$

průřezový modul

$$W_z = \frac{1}{6} h b^2 = \frac{1}{6} * 120 * 220^2 = 9.68E+05 \text{ mm}^3$$

$$I_y = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} * 220 * 120^3 = 3.17E+07 \text{ mm}^4$$

moment setrvačnosti

$$I_z = \frac{1}{12} h b^3 = \frac{1}{12} * 120 * 220^3 = 1.06E+08 \text{ mm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{3.17E+07}{26\,400}} = 34.64 \text{ mm}$$

poloměr setrvačnosti

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{1.06E+08}{26\,400}} = 63.51 \text{ mm}$$

3.6.3 Mezní stav únosnosti

Podle ČSN EN 1995-1-1.

Tah rovnoběžně s vlákny

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

$f_{t,0,d}$ návrhová pevnost v tahu podél vláken

$\sigma_{t,0,d}$ návrhové napětí v tahu podél vláken

a) maximální tah

$$N_{Ed} = 225.61 \text{ kN}$$

$$\sigma_{t,0,d} = N_{Ed} / A_{net} = 225\,610 / 22\,550 = 10.00$$

$$\sigma_{t,0,d} < f_{t,0,d} \quad 10.00 < 15.21 \quad \text{vyhovuje} \quad 65.79\%$$

Příčná a torzní stabilita

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} * f_{m,d}$$

$\sigma_{m,d}$ návrhové napětí v ohybu

a) pro návrhové momenty $M_{y,Ed}$

$L_{cr,z} = 5088 \text{ mm}$ teoretická délka diagonály

$$l_{ef} = 0.9 * L_{cr,z} = 0.9 * 5088 = 4579.2 \text{ mm}$$

l_{ef} účinná délka

kritické napětí v ohybu $\sigma_{m,crit}$

vypočtené podle klasické teorie stability s hodnotami 5% kvantilu tuhosti

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0.78 * b^2}{h * l_{ef}} * E_{0.05} = \frac{0.78 * 220^2}{120 * 4\,579.2} * 9\,600 = 659.5 \text{ MPa}$$

poměrná štíhlost v ohybu $\lambda_{rel,m}$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24 * 1.10}{659.5}} = 0.200$$

součinitel k_{crit}

$k_{crit} = 1$ pro $\lambda_{rel,m} < 0.75$

výběr na základě lambda

maximální ohybový moment kolem osy y

$$M_{Ed} = 0.355 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = M_{Ed} / W_y = 0.355 \cdot 10^6 / 5.28 \cdot 10^5 = 0.67 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d} \quad 0.67 < 19.01 \quad \text{vyhovuje} \quad 3.54\%$$

b) pro návrhové momenty $M_{z,Ed}$

$$L_{cr,y} = 5088 \text{ mm} \quad \text{teoretická délka diagonály}$$

$$l_{ef} = 0.9 \cdot L_{cr,y} + 2b = 0.9 \cdot 5088 + 2 \cdot 220 = 5019.2 \text{ mm}$$

Délka je zvětšena o dvojnásobek rozměru, který je ve směru ohybu, protože v tomto směru působí zatížení od větru přímo na prut.

$$l_{ef} = \text{účinná délka}$$

kritické napětí v ohybu $\sigma_{m,crit}$

vypočtené podle klasické teorie stability s hodnotami 5% kvantilu tuhosti

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0.78 \cdot h^2}{b \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = \frac{0.78 \cdot 120^2}{220 \cdot 5019.2} \cdot 9600 = 97.6 \text{ MPa}$$

poměrná štíhlost v ohybu $\lambda_{rel,m}$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24 \cdot 1.10}{97.6}} = 0.520$$

součinitel k_{crit}

$$k_{crit} = 1 \text{ pro } \lambda_{rel,m} < 0.75$$

výběr na základě lambda

maximální ohybový moment kolem osy z

$$M_{Ed} = 6.672 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = M_{Ed} / W_z = 6.672 \cdot 10^6 / 9.68 \cdot 10^5 = 6.89 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d} \quad 6.89 < 19.01 \quad \text{vyhovuje} \quad 36.26\%$$

Kombinace ohybu a osového tahu

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{kombinace 1 (K1)}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{kombinace 2 (K2)}$$

součinitel k_m 0.7 pro obdélníkové průřezy

		$\sigma_{t,0,d}$ [MPa]	$\sigma_{m,y,d}$ [MPa]	$\sigma_{m,z,d}$ [MPa]
a) kombinace pro $M_{y,Ed,max}$				
N_{Ed} [kN]	30.38	1.35	-	-
$M_{y,Ed}$ [kNm]	0.36	-	0.67	-
$M_{z,Ed}$ [kNm]	0.00	-	-	0.00

b) kombinace pro $M_{z,Ed,max}$				
N_{Ed} [kN]	151.33	6.71	-	-
$M_{y,Ed}$ [kNm]	0.27	-	0.50	-
$M_{z,Ed}$ [kNm]	6.67	-	-	6.89

	K1	K2
a	0.124	0.113
b	0.722	0.822

všechny hodnoty < 1 ... vyhovuje

82.25%

Smyk

$f_{v,d}$ 2.52 MPa

$$\tau_d = \frac{3}{2} * \frac{V_{Ed}}{A_v}$$

maximální smyková síla

V_{Ed} 4.314 kN
 $A_v = A$ 26400 mm²

$$\tau_d = \frac{3}{2} * \frac{V_{Ed}}{A_v} = \frac{3}{2} * \frac{4\,314}{26\,400} = 0.25 \text{ MPa}$$

$\tau_d < f_{v,d}$ 0.25 < 2.52 MPa vyhovuje 9.73%

3.6.4 Mezní stav použitelnosti

Podle ČSN EN 1995-1-1 (7.2 - Mezní hodnoty průhybů nosníků, 2.2.3 - Mezní stavy použitelnosti)

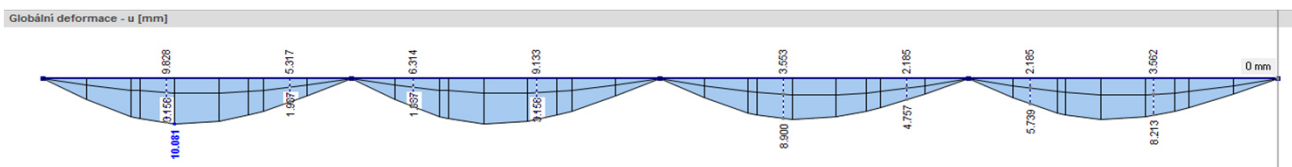
limitní hodnoty průhybu

L	5 088 mm	
L/300	17.0 mm	pro okamžitý průhyb u_{inst}
L/250	20.4 mm	pro konečný průhyb u_{fin}

poznámka: protože prvek je bez nadvýšení, pro jednoduchost píše místo $u_{net,fin} - u_{fin}$.

1. Okamžitý průhyb

kombinace výsledků charakteristické kombinace



posouzení

$u_{inst} < L/300$ 10.081 < 17.0 mm vyhovuje

2. Konečný průhyb

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q1} + u_{fin,Qi}$$

$$u_{fin,G} = u_{inst,G} * (1 + k_{def}) \quad \text{stálé zatížení}$$

$$u_{fin,Q,1} = u_{inst,Q,1} * (1 + \psi_{2,1} * k_{def})$$

$$u_{fin,Q,i} = u_{inst,Q,i} * (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} * k_{def})$$

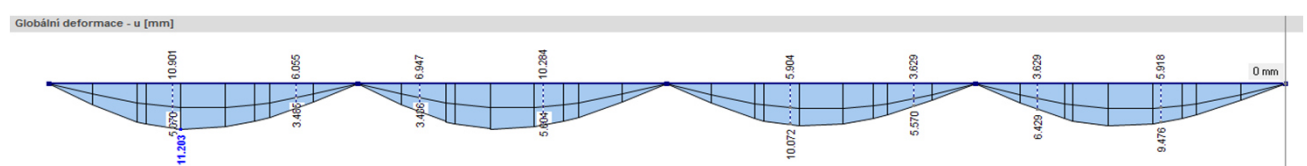
$$k_{def} \quad 0.8$$

Kvazistálá kombinace zatížení v programu RFEM v sobě výše uvedené vztahy zahrnuje.

MSP - kvazistálá

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j}(1 + k_{def}) + P + Q_{k,1}(1 + \psi_{2,1}k_{def}) + \sum_{i > 1} Q_{k,i}(\psi_{0,i} + \psi_{2,i}k_{def})$$

kombinace výsledků kvazistálé kombinace



posouzení

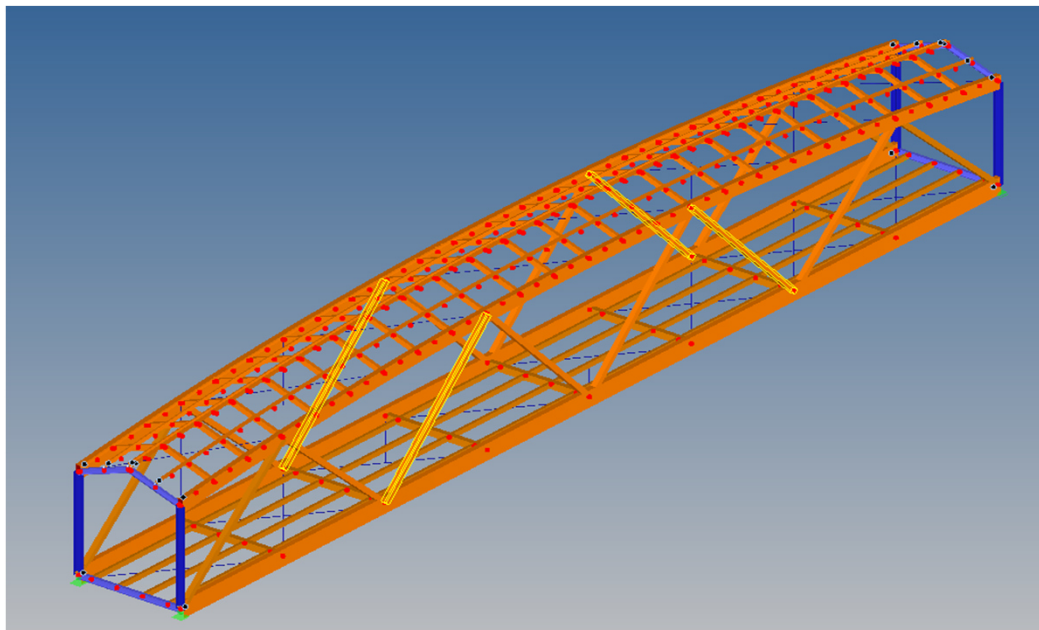
$u_{fin} < L/250$ 11.203 < 20.4 mm vyhovuje

3.7 Tlačená diagonála D3 (4ks)

Je provedena z lepeného lamelového dřeva třídy GL 24h

3.7.1 Poloha v konstrukci, zatížení, výpočet a vnitřní síly

Umístění diagonál D3 v prostorové příhradové konstrukci



Zatěžovací stavy, kombinace zatížení a výpočet

Zatěžovací stavy

Platí pro celou příhradovou konstrukci stejné.

Kombinace zatížení

Pro mezní stav únosnosti se uvažuje kombinace 6.10a a 6.10b.

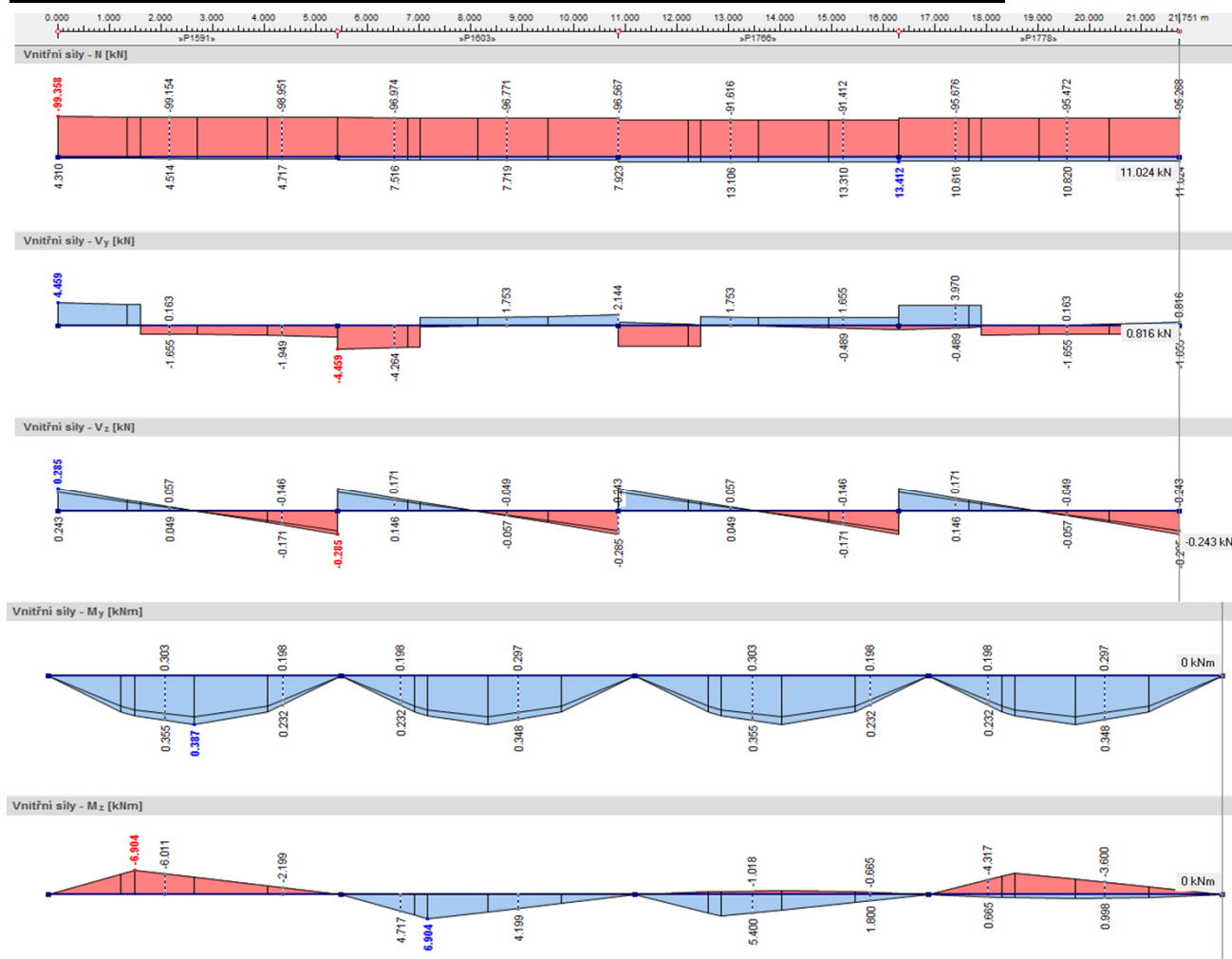
U mezního stavu použitelnosti se pro okamžitý průhyb používá charakteristická kombinace a pro konečný průhyb kvazistálá kombinace s příslušným součinitelem k_{def} .

Výpočet

Analýza konstrukce je provedena ve studentské verzi programu RFEM 5.01 od společnosti Dlubal Software s.r.o. Metoda analýzy je podle I.řádu (geometricky lineární výpočet). Jsou vypočteny přetvoření a účinky zatížení pro jednotlivé zatěžovací stavy a kombinace. Kombinace zatížení jsou dále uvažovány pro kombinaci výsledků zahrnující maximální a minimální hodnoty ze všech kombinací zatížení. Ta je přehledně vykreslena po délce konstrukce.

Výsledek výpočtu

kombinace výsledků pro únosnost (uvažované pruty jsou vykresleny vedle sebe)



odpovídající vnitřní síly maximálním hodnotám

Místo x [m]		N	Síly [kN] Vy	Vz	M _T	Momenty [kNm] My	Mz	
0.000	Min N	-99.358	0.489	0.243	0.000	0.000	0.000	KZ 344
5.438	Max N	13.412	-0.816	-0.243	0.000	0.000	0.000	KZ 154
2.719	Max My	12.510	0.000	0.000	0.000	0.387	0.000	KZ 1
1.600	Min Mz	30.254	4.171	0.100	0.000	0.274	-6.904	KZ 389

STR KZ1	1.35*ZS1 + 1.35*ZS2
STR KZ154	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS14
STR KZ344	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS3 + 0.9*ZS11 + 0.6*ZS17
STR KZ389	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 0.9*ZS6 + 1.5*ZS18

tabulka návrhových vnitřních síl

		tlak $N_{Ed, odp}$	tah $N_{Ed, odp}$	ohyb y $M_{Ed, odp}$	ohyb z $M_{Ed, odp}$	
N_{max}	99.358 kN (tlak)	-	-	0	0	KZ 344
N_{max}	13.412 kN (tah)	-	-	0	0	KZ 154
$V_{y, max}$	4.459 kN					
$V_{z, max}$	0.285 kN					
$M_{T, max}$	0 kNm					
$M_{y, max}$	0.387 kNm	12.51	0	-	0	KZ 1
$M_{z, max}$	6.904 kNm	30.254	0	0.27	-	KZ 389

3.7.2 Výpočet návrhových hodnot pevností a průřezových charakteristik

Pevnostní a tuhostní vlastnosti materiálu v charakteristických hodnotách

Třída pevnosti		GL 24h
Pevnostní vlastnosti [MPa]		
Ohyb	$f_{m, k}$	24
Tah II s vlákny	$f_{t, 0, k}$	19.2
Tah \perp k vláknům	$f_{t, 90, k}$	0.5
Tlak II s vlákny	$f_{c, 0, k}$	24
Tlak \perp k vláknům	$f_{c, 90, k}$	2.5
Smyk	$f_{v, k}$	3.5
Tuhostní vlastnosti [GPa]		
Průměrná hodnota modulu pružnosti II s vlákny	$E_{0, mean}$	11.5
5% kvantil modulu pružnosti II s vlákny	$E_{0.05}$	9.6
Průměrná hodnota modulu pružnosti \perp k vláknům	$E_{90, mean}$	0.3
Průměrná hodnota modulu pružnosti ve smyku	G_{mean}	0.65
Hustota [kg/m³]		
Hustota	ρ_k	385
Průměrná hodnota hustoty	ρ_{mean}	420

Zatížení a vlivy prostředí

Třída trvání zatížení

zatížení	třída trvání zatížení
vlastní tíha	stálé
ostatní stálé	stálé
sníh	krátkodobé
vítr	krátkodobé
dav lidí	krátkodobé

Třída provozu

Diagonály jsou pod střechou a nepředpokládá se vysoká vlhkost.
Třída provozu je 2.

Součinitele potřebné pro návrhové hodnoty pevností a tuhostí

Modifikační součinitele pevnosti pro třídy provozu a třídy trvání zatížení

a) modifikační součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti

k_{mod} 0.9 (lepené lamelové dřevo, třída provozu 2, krátkodobé zat.)

b) součinitel zvětšující únosnost v ohybu $f_{m,k}$

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0.1} \right. \quad \left. 1.1 \right\} \quad \text{vzorec pro lepené lamelové dřevo}$$

$$h = 140 \text{ mm}$$

$$k_{h,y} = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0.1} \right. \quad \left. \min \left\{ \left(\frac{600}{140} \right)^{0.1} = 1.10 \right. \right. \quad \left. \left. 1.1 \right\} \right\} \quad \text{(ohyb kolem osy y)}$$

$$b = 220 \text{ mm}$$

$$k_{h,z} = \min \left\{ \left(\frac{600}{b} \right)^{0.1} \right. \quad \left. \min \left\{ \left(\frac{600}{220} \right)^{0.1} = 1.10 \right. \right. \quad \left. \left. 1.1 \right\} \right\} \quad \text{(ohyb kolem osy z)}$$

c) součinitel zvětšující únosnost v tahu II s vlákny $f_{t,0,k}$

$$h = 220 \text{ mm}$$

h ... maximální rozměr průřezu

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0.1} \right. \quad \left. \min \left\{ \left(\frac{600}{220} \right)^{0.1} = 1.10 \right. \right. \quad \left. \left. 1.1 \right\} \right\}$$

Modifikační součinitel deformace pro třídy provozu - součinitel deformace

k_{def} 0.8 (lepené lamelové dřevo, třída provozu 2)

Výpočet návrhových pevnostních a tuhostních vlastností materiálu

návrhové hodnoty pevnostních vlastností materiálu

$$X_d = k_{mod} \frac{X_k}{\gamma_M}$$

dílčí součinitel vlastnosti materiálu

γ_M

1.25 pro lepené lamelové dřevo

$$f_{m,y,d} = k_{mod} * k_{h,y} * f_{m,k} / \gamma_M = 0.9 * 1.10 * 24 / 1.25 = 19.01 \text{ MPa}$$

$$f_{m,z,d} = k_{mod} * k_{h,z} * f_{m,k} / \gamma_M = 0.9 * 1.10 * 24 / 1.25 = 19.01 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} * k_h * f_{t,0,k} / \gamma_M = 0.9 * 1.10 * 19.2 / 1.25 = 15.21 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,d} = k_{mod} * f_{t,90,k} / \gamma_M = 0.9 * 0.5 / 1.25 = 0.36 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} * f_{c,0,k} / \gamma_M = 0.9 * 24 / 1.25 = 17.28 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,d} = k_{mod} * f_{c,90,k} / \gamma_M = 0.9 * 2.5 / 1.25 = 1.80 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} * f_{v,k} / \gamma_M = 0.9 * 3.5 / 1.25 = 2.52 \text{ MPa}$$

návrhové hodnoty tuhostních vlastností materiálu

$$E_{0,d} = E_{0,mean} / \gamma_M = 11.5 / 1.25 = 9.20 \text{ MPa}$$

$$E_{90,d} = E_{90,mean} / \gamma_M = 0.3 / 1.25 = 0.24 \text{ MPa}$$

$$G_d = G_{mean} / \gamma_M = 0.65 / 1.25 = 0.52 \text{ MPa}$$

$$E_d = \frac{E_{mean}}{\gamma_M}$$

$$G_d = \frac{G_{mean}}{\gamma_M}$$

Průřezové charakteristiky

$$h = 140 \text{ mm}$$

výška průřezu

$$b = 220 \text{ mm}$$

šířka průřezu

$$A = h * b = 140 * 220 = 30\,800 \text{ mm}^2$$

plocha průřezu

$$A_{net} = 26\,650 \text{ mm}^2$$

oslabená plocha

$$W_y = \frac{1}{6} b h^2 = \frac{1}{6} * 220 * 140^2 = 7.19E+05 \text{ mm}^3$$

průřezový modul

$$W_z = \frac{1}{6} h b^2 = \frac{1}{6} * 140 * 220^2 = 1.13E+06 \text{ mm}^3$$

$$I_y = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} * 220 * 140^3 = 5.03E+07 \text{ mm}^4$$

moment setrvačnosti

$$I_z = \frac{1}{12} h b^3 = \frac{1}{12} * 140 * 220^3 = 1.24E+08 \text{ mm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{5.03E+07}{30\,800}} = 40.41 \text{ mm}$$

poloměr setrvačnosti

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{1.24E+08}{30\,800}} = 63.51 \text{ mm}$$

3.7.3 Mezní stav únosnosti

Podle ČSN EN 1995-1-1.

Tah rovnoběžně s vlákny

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

$f_{t,0,d}$ návrhová pevnost v tahu podél vláken

$\sigma_{t,0,d}$ návrhové napětí v tahu podél vláken

a) maximální tah

$$N_{Ed} \quad 13.412 \text{ kN}$$

$$\sigma_{t,0,d} = N_{Ed} / A_{net} = 13\,412 / 26\,650 = 0.50 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t,0,d} < f_{t,0,d} \quad 0.50 < 15.21 \quad \text{vyhovuje} \quad 3.31\%$$

Vzpěrná únosnost

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} \leq 1 \quad \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \leq 1$$

$f_{c,0,d}$ návrhová pevnost v tlaku podél vláken

$\sigma_{c,0,d}$ návrhové napětí v tlaku podél vláken

vzpěrné délky

$$L_{cr,y} \quad 5438 \text{ mm} \quad \text{teoretická délka diagonály}$$

$$L_{cr,z} \quad 5438 \text{ mm} \quad \text{teoretická délka diagonály}$$

štíhlost prutu λ

$$\lambda_y = L_{cr,y} / i_y = 5\,438 / 40.41 = 135.56$$

$$\lambda_z = L_{cr,z} / i_z = 5\,438 / 63.51 = 85.63$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0.05}}} = \frac{135.56}{\pi} \sqrt{\frac{24}{9\,600}} = 2.14 > 0.3 \dots \text{vyhovuje}$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0.05}}} = \frac{85.63}{\pi} \sqrt{\frac{24}{9\,600}} = 1.36 > 0.3 \dots \text{vyhovuje}$$

$$\beta_c \quad 0.1 \text{ pro lepené lamelové dřevo}$$

$$k_y = 0.5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2) = 0.5 * (1 + 0.1 * (2.14 - 0.3) + 2.14^2) = 2.89$$

$$k_z = 0.5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2) = 0.5 * (1 + 0.1 * (1.36 - 0.3) + 1.36^2) = 1.48$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{2.89 + \sqrt{2.89^2 - 2.14^2}} = 0.21$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1.48 + \sqrt{1.48^2 - 1.36^2}} = 0.48$$

a) maximální tlak

$$N_{Ed} = 99.358 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed} / A = 99\,358 / 30\,800 = 3.23 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} = \frac{3.23}{0.21 * 17.28} = 0.90 < 1 \quad \text{vyhovuje} \quad 89.95\%$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} = \frac{3.23}{0.48 * 17.28} = 0.39 < 1 \quad \text{vyhovuje} \quad 38.52\%$$

Příčná a torzní stabilita v kombinaci se vzpěrem

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} * f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \leq 1$$

$\sigma_{m,d}$ návrhové napětí v ohybu

$\sigma_{c,d}$ návrhové napětí v tlaku

$f_{c,0,d}$ návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny

a) pro návrhové momenty $M_{y,Ed}$

$$l_{ef} = 0.9 * L_{cr,z} = 0.9 * 5\,438 = 4\,894.2 \text{ mm}$$

l_{ef} účinná délka

kritické napětí v ohybu $\sigma_{m,crit}$

vypočtené podle klasické teorie stability s hodnotami 5% kvantilu tuhosti

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0.78 * b^2}{h * l_{ef}} * E_{0.05} = \frac{0.78 * 220^2}{140 * 4\,894.2} * 9\,600 = 528.9 \text{ MPa}$$

poměrná štíhlost v ohybu $\lambda_{rel,m}$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24 * 1.10}{528.9}} = 0.223$$

součinitel k_{crit}

$k_{crit} = 1$ pro $\lambda_{rel,m} < 0.75$

výběr na základě lambda

maximální ohybový moment kolem osy y a odpovídající tlaková síla

$$M_{Ed} = 0.387 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = M_{Ed} / W_y = 0.387 \cdot 10^6 / 7.19 \cdot 10^5 = 0.54 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 12.51 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed} / A = 12.51 / 30.800 = 0.41 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \left(\frac{0.54}{1 \cdot 19.01} \right)^2 + \frac{0.41}{0.48 \cdot 17.28} = 0.05 \leq 1 \quad \text{vyhovuje} \quad 4.93\%$$

b) pro návrhové momenty $M_{z,Ed}$

$$l_{ef} = 0.9 \cdot L_{cr,y} + 2b = 0.9 \cdot 5.438 + 2 \cdot 0.220 = 5.334.2 \text{ mm}$$

Délka je zvětšena o dvojnásobek rozměru, který je ve směru ohybu, protože v tomto směru působí zatížení od větru přímo na prut.

l_{ef} účinná délka

kritické napětí v ohybu $\sigma_{m,crit}$

vypočtené podle klasické teorie stability s hodnotami 5% kvantilu tuhosti

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0.78 \cdot h^2}{b \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = \frac{0.78 \cdot 140^2}{220 \cdot 5.334.2} \cdot 9.600 = 125.1 \text{ MPa}$$

poměrná štíhlost v ohybu $\lambda_{rel,m}$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24 \cdot 1.10}{125.1}} = 0.459$$

součinitel k_{crit}

$k_{crit} = 1$ pro $\lambda_{rel,m} < 0.75$

výběr na základě lambda

maximální ohybový moment kolem osy z a odpovídající tlaková síla

$$M_{Ed} = 6.904 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = M_{Ed} / W_z = 6.904 \cdot 10^6 / 1.13 \cdot 10^6 = 6.11 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 30.254 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed} / A = 30.254 / 30.800 = 0.98 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} * f_{m,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} = \left(\frac{6.11}{1 * 19.01}\right)^2 + \frac{0.98}{0.21 * 17.28} = 0.38 \leq 1 \quad \text{vyhovuje} \quad 37.73\%$$

Kombinace ohybu a vzpěru

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{kombinace 1 (K1)}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{kombinace 2 (K2)}$$

součinitel k_m 0.7 pro obdélníkové průřezy

		$\sigma_{c,0,d}$ [MPa]	$\sigma_{m,y,d}$ [MPa]	$\sigma_{m,z,d}$ [MPa]
kombinace pro $M_{z,Ed,max}$				
N_{Ed} [kN]	30.25	0.98	-	-
$M_{y,Ed}$ [kNm]	0.27	-	0.38	-
$M_{z,Ed}$ [kNm]	6.90	-	-	6.11

K1 K2
0.519 0.610
obě hodnoty < 1 ... vyhovuje 60.96%

Smyk

$f_{v,d}$ 2.52 MPa

$$\tau_d = \frac{3}{2} * \frac{V_{Ed}}{A_v}$$

maximální smyková síla

V_{Ed} 4.459 kN
 $A_v = A$ 30800 mm²

$$\tau_d = \frac{3}{2} * \frac{V_{Ed}}{A_v} = \frac{3}{2} * \frac{4\,459}{30\,800} = 0.22 \text{ MPa}$$

$\tau_d < f_{v,d}$ **0.22** < **2.52 MPa** vyhovuje 8.62%

3.7.4 Mezní stav použitelnosti

Podle ČSN EN 1995-1-1 (7.2 - Mezní hodnoty průhybů nosníků, 2.2.3 - Mezní stavy použitelnosti)

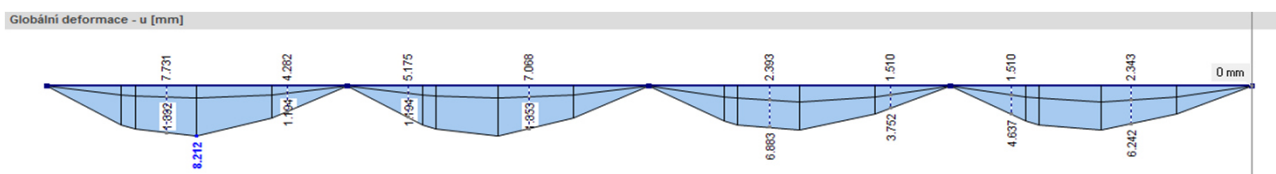
limitní hodnoty průhybu

L	5 438 mm	
L/300	18.1 mm	pro okamžitý průhyb u_{inst}
L/250	21.8 mm	pro konečný průhyb u_{fin}

poznámka: protože prvek je bez nadvýšení, pro jednoduchost píš místo $u_{net,fin} - u_{fin}$.

1. Okamžitý průhyb

kombinace výsledků charakteristické kombinace



posouzení

$u_{inst} < L/300$ 8.212 < 18.1 mm vyhovuje

2. Konečný průhyb

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q1} + u_{fin,Qi}$$

$$u_{fin,G} = u_{inst,G} * (1 + k_{def}) \quad \text{stálé zatížení}$$

$$u_{fin,Q,1} = u_{inst,Q,1} * (1 + \psi_{2,1} * k_{def})$$

$$u_{fin,Q,i} = u_{inst,Q,i} * (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} * k_{def})$$

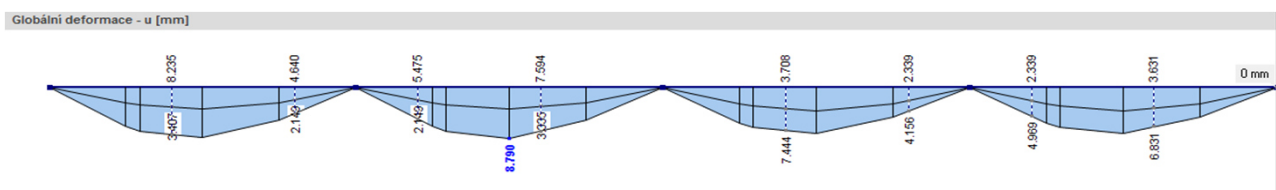
$$k_{def} \quad 0.8$$

Kvazistálá kombinace zatížení v programu RFEM v sobě výše uvedené vztahy zahrnuje.

MSP - kvazistálá

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j}(1 + k_{def}) + P + Q_{k,1}(1 + \psi_{2,1}k_{def}) + \sum_{i > 1} Q_{k,i}(\psi_{0,i} + \psi_{2,i}k_{def})$$

kombinace výsledků kvazistálé kombinace



posouzení

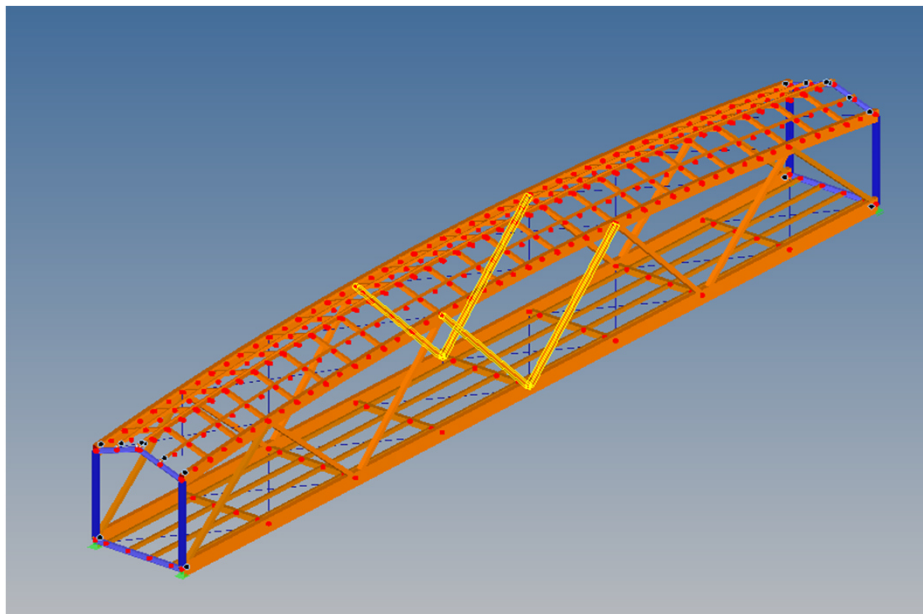
$u_{fin} < L/250$ 8.790 < 21.8 mm vyhovuje

3.8 Tažená diagonála D4 (4ks)

Je provedena z lepeného lamelového dřeva třídy GL 24h

3.8.1 Poloha v konstrukci, zatížení, výpočet a vnitřní síly

Umístění diagonál D4 v prostorové příhradové konstrukci



Zatěžovací stavy, kombinace zatížení a výpočet

Zatěžovací stavy

Platí pro celou příhradovou konstrukci stejné.

Kombinace zatížení

Pro mezní stav únosnosti se uvažuje kombinace 6.10a a 6.10b.

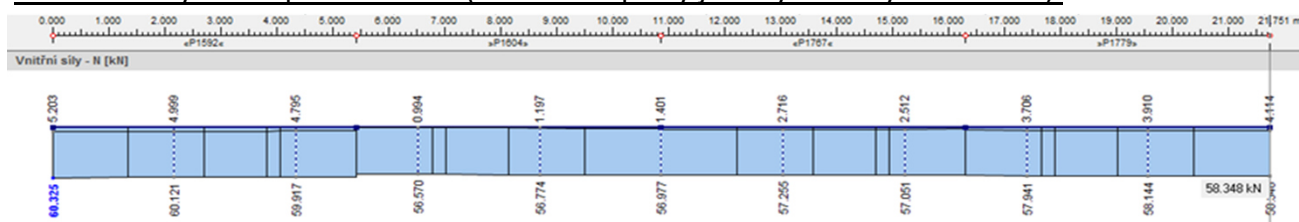
U mezního stavu použitelnosti se pro okamžitý průhyb používá charakteristická kombinace a pro konečný průhyb kvazistálá kombinace s příslušným součinitelem k_{def} .

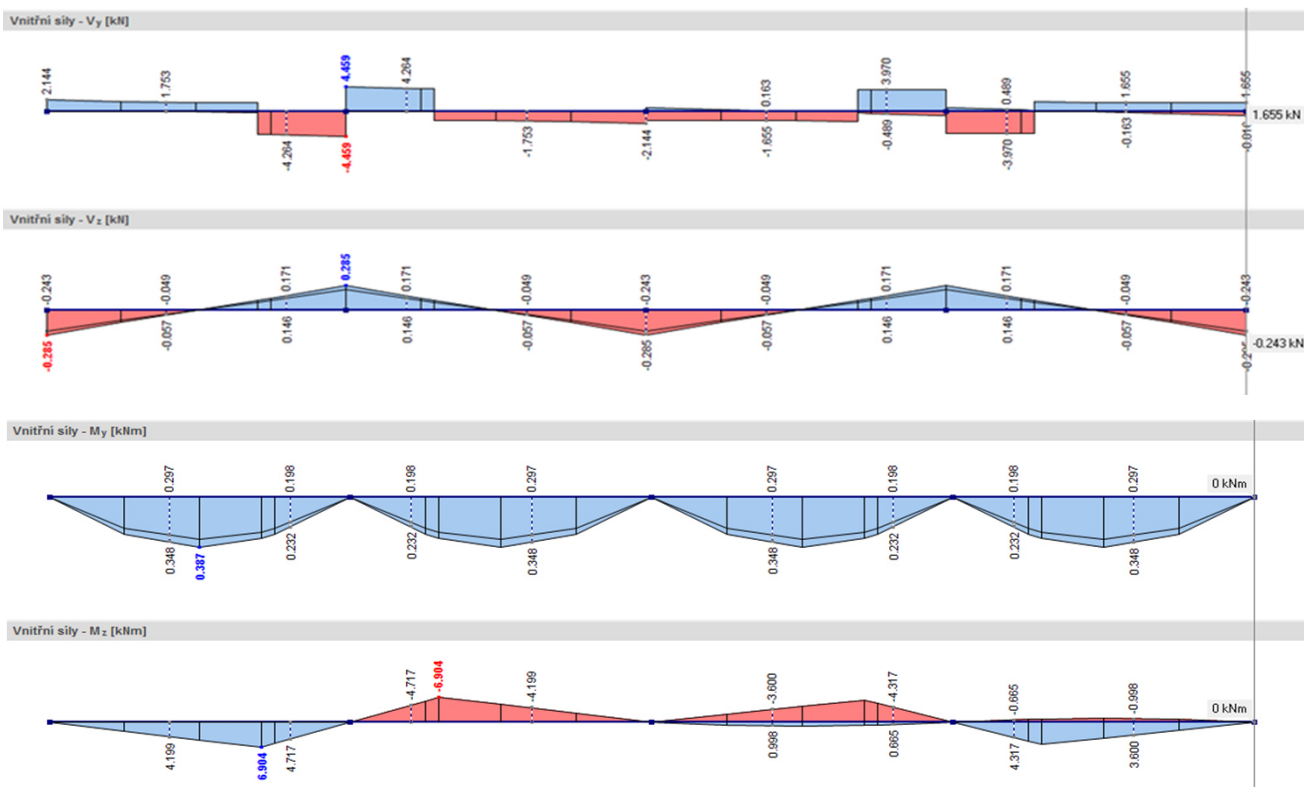
Výpočet

Analýza konstrukce je provedena ve studentské verzi programu RFEM 5.01 od společnosti Dlubal Software s.r.o. Metoda analýzy je podle I.řádu (geometricky lineární výpočet). Jsou vypočteny přetvoření a účinky zatížení pro jednotlivé zatěžovací stavy a kombinace. Kombinace zatížení jsou dále uvažovány pro kombinaci výsledků zahrnující maximální a minimální hodnoty ze všech kombinací zatížení. Ta je přehledně vykreslena po délce konstrukce.

Výsledky výpočtu

kombinace výsledků pro únosnost (uvažované pruty jsou vykresleny vedle sebe)





odpovídající vnitřní síly maximálním hodnotám

Místo x [m]		N	Síly [kN] Vy	Vz	M _T	Momenty [kNm] My	Mz	
5.438	Max N	60.325	0.489	-0.243	0.000	0.000	0.000	KZ 448
Místo x [m]		N	Síly [kN] Vy	Vz	M _T	Momenty [kNm] My	Mz	
2.719	Max My	7.072	0.000	0.000	0.000	0.387	0.000	KZ 1
Místo x [m]		N	Síly [kN] Vy	Vz	M _T	Momenty [kNm] My	Mz	
1.600	Max Mz	49.740	-4.171	0.100	0.000	0.274	6.904	KZ 389

tabulka návrhových vnitřních síl

		tlak N _{Ed, odp}	tah N _{Ed, odp}	ohyb y M _{Ed, odp}	ohyb z M _{Ed, odp}	
N _{max}	0 kN (tlak)	-	-	0	0	
N _{max}	60.33 kN (tah)	-	-	0	0	KZ 448
V _{y, max}	4.46 kN					
V _{z, max}	0.29 kN					
M _{T, max}	0 kNm					
M _{y, max}	0.39 kNm	0	7.07	-	0	KZ 1
M _{z, max}	6.90 kNm	0	49.74	0.27	-	KZ 389

3.8.2 Výpočet návrhových hodnot pevností a průřezových charakteristik

Pevnostní a tuhostní vlastnosti materiálu v charakteristických hodnotách

Třída pevnosti		GL 24h
Pevnostní vlastnosti [MPa]		
Ohyb	$f_{m,k}$	24
Tah II s vlákny	$f_{t,0,k}$	19.2
Tah \perp k vláknům	$f_{t,90,k}$	0.5
Tlak II s vlákny	$f_{c,0,k}$	24
Tlak \perp k vláknům	$f_{c,90,k}$	2.5
Smyk	$f_{v,k}$	3.5
Tuhostní vlastnosti [GPa]		
Průměrná hodnota modulu pružnosti II s vlákny	$E_{0,mean}$	11.5
5% kvantil modulu pružnosti II s vlákny	$E_{0.05}$	9.6
Průměrná hodnota modulu pružnosti \perp k vláknům	$E_{90,mean}$	0.3
Průměrná hodnota modulu pružnosti ve smyku	G_{mean}	0.65
Hustota [kg/m³]		
Hustota	ρ_k	385
Průměrná hodnota hustoty	ρ_{mean}	420

Zatížení a vlivy prostředí

Třída trvání zatížení

zatížení	třída trvání zatížení
vlastní tíha	stálé
ostatní stálé	stálé
sníh	krátkodobé
vítr	krátkodobé
dav lidí	krátkodobé

Třída provozu

Diagonály jsou pod střechou a nepředpokládá se vysoká vlhkost.
Třída provozu je 2.

Součinitele potřebné pro návrhové hodnoty pevností a tuhostí

Modifikační součinitele pevnosti pro třídy provozu a třídy trvání zatížení

a) modifikační součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti

k_{mod} 0.9 (lepené lamelové dřevo, třída provozu 2, krátkodobé zat.)

b) součinitel zvětšující únosnost v ohybu $f_{m,k}$

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0.1} \right. \quad \left. \frac{1.1}{1.1} \right\} \quad \text{vzorec pro lepené lamelové dřevo}$$

$h = 100 \text{ mm}$

$$k_{h,y} = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0.1} \right. = \min \left\{ \left(\frac{600}{100} \right)^{0.1} = 1.10 \quad \left. \frac{1.1}{1.1} \right\} \quad \text{(ohyb kolem osy y)}$$

$b = 220 \text{ mm}$

$$k_{h,z} = \min \left\{ \left(\frac{600}{b} \right)^{0.1} \right. = \min \left\{ \left(\frac{600}{220} \right)^{0.1} = 1.10 \quad \left. \frac{1.1}{1.1} \right\} \quad \text{(ohyb kolem osy z)}$$

c) součinitel zvětšující únosnost v tahu II s vlákny $f_{t,0,k}$

$h = 220 \text{ mm}$

$h \dots$ maximální rozměr průřezu

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0.1} \right. = \min \left\{ \left(\frac{600}{220} \right)^{0.1} = 1.10 \quad \left. \frac{1.1}{1.1} \right\}$$

Modifikační součinitel deformace pro třídy provozu - součinitel deformace

k_{def} 0.8 (lepené lamelové dřevo, třída provozu 2)

Výpočet návrhových pevnostních a tuhostních vlastností materiálu

navrhové hodnoty pevnostních vlastností materiálu

$$X_d = k_{mod} \frac{X_k}{\gamma_M}$$

dílčí součinitel vlastnosti materiálu

γ_M 1.25 pro lepené lamelové dřevo

$$f_{m,y,d} = k_{mod} * k_{h,y} * f_{m,k} / \gamma_M = 0.9 * 1.10 * 24 / 1.25 = 19.01 \text{ MPa}$$

$$f_{m,z,d} = k_{mod} * k_{h,z} * f_{m,k} / \gamma_M = 0.9 * 1.10 * 24 / 1.25 = 19.01 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} * k_h * f_{t,0,k} / \gamma_M = 0.9 * 1.10 * 19.2 / 1.25 = 15.21 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,d} = k_{mod} * f_{t,90,k} / \gamma_M = 0.9 * 0.5 / 1.25 = 0.36 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} * f_{c,0,k} / \gamma_M = 0.9 * 24 / 1.25 = 17.28 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,d} = k_{mod} * f_{c,90,k} / \gamma_M = 0.9 * 2.5 / 1.25 = 1.80 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} * f_{v,k} / \gamma_M = 0.9 * 3.5 / 1.25 = 2.52 \text{ MPa}$$

návrhové hodnoty tuhostních vlastností materiálu

$$E_d = \frac{E_{\text{mean}}}{\gamma_M}$$

$$G_d = \frac{G_{\text{mean}}}{\gamma_M}$$

$$E_{0,d} = E_{0,\text{mean}} / \gamma_M = 11.5 / 1.25 = 9.20 \text{ MPa}$$

$$E_{90,d} = E_{90,\text{mean}} / \gamma_M = 0.3 / 1.25 = 0.24 \text{ MPa}$$

$$G_d = G_{\text{mean}} / \gamma_M = 0.65 / 1.25 = 0.52 \text{ MPa}$$

Průřezové charakteristiky

$$h = 100 \text{ mm}$$

$$b = 220 \text{ mm}$$

$$A = h * b = 100 * 220 = 22\,000 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{net}} = 18\,450 \text{ mm}^2$$

$$W_y = \frac{1}{6}bh^2 = \frac{1}{6} * 220 * 100^2 = 3.67\text{E}+05 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6}hb^2 = \frac{1}{6} * 100 * 220^2 = 8.07\text{E}+05 \text{ mm}^3$$

$$I_y = \frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12} * 220 * 100^3 = 1.83\text{E}+07 \text{ mm}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12}hb^3 = \frac{1}{12} * 100 * 220^3 = 8.87\text{E}+07 \text{ mm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1.83\text{E}+07}{22\,000}} = 28.87 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{8.87\text{E}+07}{22\,000}} = 63.51 \text{ mm}$$

výška průřezu

šířka průřezu

plocha průřezu

oslabená plocha

průřezový modul

moment setrvačnosti

poloměr setrvačnosti

3.8.3 Mezní stav únosnosti

Podle ČSN EN 1995-1-1.

Tah rovnoběžně s vlákny

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

$f_{t,0,d}$ návrhová pevnost v tahu podél vláken

$\sigma_{t,0,d}$ návrhové napětí v tahu podél vláken

a) maximální tah

$$N_{Ed} = 60.325 \text{ kN}$$

$$\sigma_{t,0,d} = N_{Ed} / A_{net} = 60\,325 / 18\,450 = 3.27 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t,0,d} < f_{t,0,d} \quad 3.27 < 15.21 \quad \text{vyhovuje} \quad 21.50\%$$

Příčná a torzní stabilita

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} * f_{m,d}$$

$$\sigma_{m,d} \quad \text{návrhové napětí v ohybu}$$

a) pro návrhové momenty $M_{y,Ed}$

$$L_{cr,z} = 5438 \text{ mm} \quad \text{teoretická délka diagonály}$$

$$l_{ef} = 0.9 * L_{cr,z} = 0.9 * 5\,438 = 4\,894.2 \text{ mm}$$

$$l_{ef} \quad \text{účinná délka}$$

kritické napětí v ohybu $\sigma_{m,crit}$

vypočtené podle klasické teorie stability s hodnotami 5% kvantilu tuhosti

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0.78 * b^2}{h * l_{ef}} * E_{0.05} = \frac{0.78 * 220^2}{100 * 4\,894.2} * 9\,600 = 740.5 \text{ MPa}$$

poměrná štíhlost v ohybu $\lambda_{rel,m}$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24 * 1.10}{740.5}} = 0.189$$

součinitel k_{crit}

$$k_{crit} = 1 \text{ pro } \lambda_{rel,m} < 0.75$$

výběr na základě lambda

maximální ohybový moment kolem osy y

$$M_{Ed} = 0.387 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = M_{Ed} / W_y = 0.387 * 10^6 / 3.67 * 10^5 = 1.06 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} * f_{m,d} \quad 1.06 < 19.01 \quad \text{vyhovuje} \quad 5.55\%$$

b) pro návrhové momenty $M_{z,Ed}$

$$I_{ef} = 0.9 * L_{cr,y} + 2b = 0.9 * 5\,438 + 2 * 220 = 5\,334.2 \text{ mm}$$

Délka je zvětšena o dvojnásobek rozměru, který je ve směru ohybu, protože v tomto směru působí zatížení od větru přímo na prut.

I_{ef} účinná délka

kritické napětí v ohybu $\sigma_{m,crit}$

vypočtené podle klasické teorie stability s hodnotami 5% kvantilu tuhosti

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0.78 * h^2}{b * I_{ef}} * E_{0.05} = \frac{0.78 * 100^2}{220 * 5\,334.2} * 9\,600 = 63.8 \text{ MPa}$$

poměrná štíhlost v ohybu $\lambda_{rel,m}$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24 * 1.10}{63.8}} = 0.643$$

součinitel k_{crit}

$k_{crit} = 1$ pro $\lambda_{rel,m} < 0.75$

výběr na základě lambda

maximální ohybový moment kolem osy z

$$M_{Ed} = 6.904 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = M_{Ed} / W_z = 6.904 * 10^6 / 8.07 * 10^5 = 8.56 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} * f_{m,d} \quad 8.56 < 19 \quad \text{vyhovuje} \quad 45.03\%$$

Kombinace ohybu a osového tahu

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{kombinace 1 (K1)}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{kombinace 2 (K2)}$$

součinitel k_m 0.7 pro obdélníkové průřezy

		$\sigma_{t,0,d}$ [MPa]	$\sigma_{m,y,d}$ [MPa]	$\sigma_{m,z,d}$ [MPa]
a) kombinace pro $M_{y,Ed,max}$				
N_{Ed} [kN]	7.07	0.38	-	-
$M_{y,Ed}$ [kNm]	0.39	-	1.06	-
$M_{z,Ed}$ [kNm]	0.00	-	-	0.00

b) kombinace pro $M_{z,Ed,max}$

N_{Ed} [kN]	49.74	2.70	-	-
$M_{y,Ed}$ [kNm]	0.27	-	0.75	-
$M_{z,Ed}$ [kNm]	6.90	-	-	8.56

	K1	K2
b	0.081	0.064
c	0.532	0.655

všechny hodnoty < 1 ... vyhovuje

65.51%

Smyk

$f_{v,d}$ 2.52 MPa

$$\tau_d = \frac{3}{2} * \frac{V_{Ed}}{A_v}$$

maximální smyková síla

V_{Ed} 4.459 kN

$A_v = A$ 22000 mm²

$$\tau_d = \frac{3}{2} * \frac{V_{Ed}}{A_v} = \frac{3}{2} * \frac{4\,459}{22\,000} = 0.30 \text{ MPa}$$

$\tau_d < f_{v,d}$ **0.30** < **2.52 MPa** vyhovuje 12.06%

3.8.4 Mezní stav použitelnosti

Podle ČSN EN 1995-1-1 (7.2 - Mezní hodnoty průhybů nosníků, 2.2.3 - Mezní stavy použitelnosti)

limitní hodnoty průhybu

L 5 438 mm

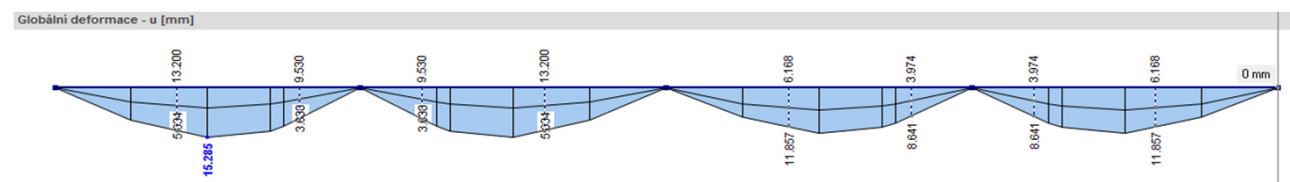
$L/300$ 18.1 mm pro okamžitý průhyb u_{inst}

$L/250$ 21.8 mm pro konečný průhyb u_{fin}

poznámka: protože prvek je bez nadvýšení, pro jednoduchost píší místo $u_{net,fin}$ - u_{fin} .

1. Okamžitý průhyb

kombinace výsledků charakteristické kombinace



posouzení

$u_{\text{inst}} < L/300$ 15.285 < 18.1 mm vyhovuje

2. Konečný průhyb

$$u_{\text{fin}} = u_{\text{fin,G}} + u_{\text{fin,Q1}} + u_{\text{fin,Qi}}$$

$$u_{\text{fin,G}} = u_{\text{inst,G}} * (1 + k_{\text{def}}) \quad \text{stálé zatížení}$$

$$u_{\text{fin,Q,1}} = u_{\text{inst,Q,1}} * (1 + \psi_{2,1} * k_{\text{def}})$$

$$u_{\text{fin,Q,i}} = u_{\text{inst,Q,i}} * (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} * k_{\text{def}})$$

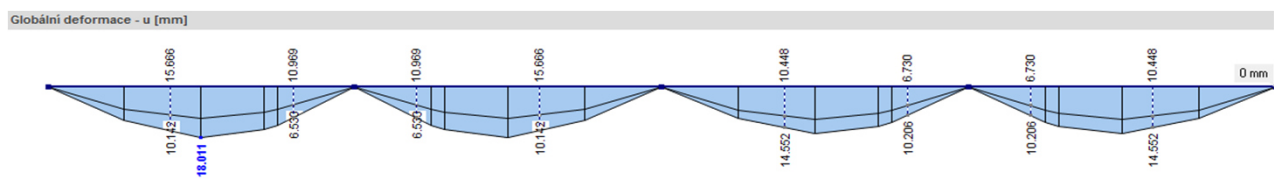
k_{def} #ODKAZ!

Kvazistálá kombinace zatížení v programu RFEM v sobě výše uvedené vztahy zahrnuje.

MSP - kvazistálá

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} (1 + k_{\text{def}}) + P + Q_{k,1} (1 + \psi_{2,1} k_{\text{def}}) + \sum_{i > 1} Q_{k,i} (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} k_{\text{def}})$$

kombinace výsledků kvazistálé kombinace



posouzení

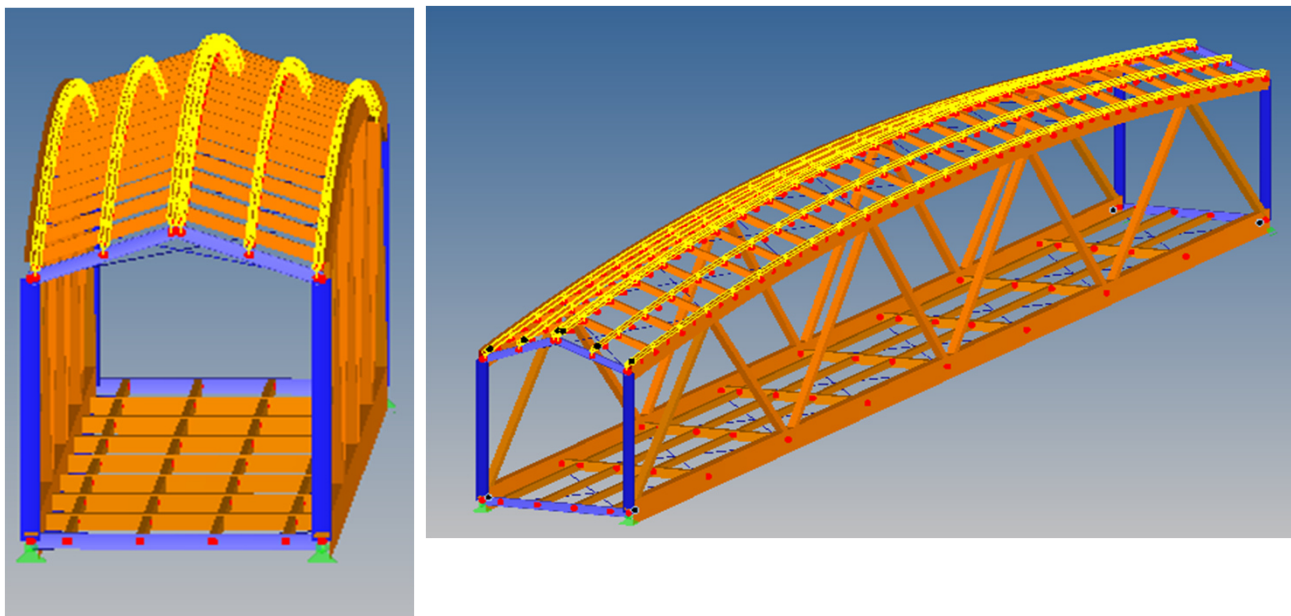
$u_{\text{fin}} < L/250$ 18.011 < 21.8 mm vyhovuje

3.9 Vaznice (6ks)

Je provedena z lepeného lamelového dřeva třídy GL 24h a po délce lávky je spojitá.

3.9.1 Poloha v konstrukci, zatížení, výpočet a vnitřní síly

Umístění vaznic v prostorové příhradové konstrukci



Zatěžovací stavy, kombinace zatížení a výpočet

Zatěžovací stavy

Platí pro celou příhradovou konstrukci stejné.

Kombinace zatížení

Pro mezní stav únosnosti se uvažuje kombinace 6.10a a 6.10b.

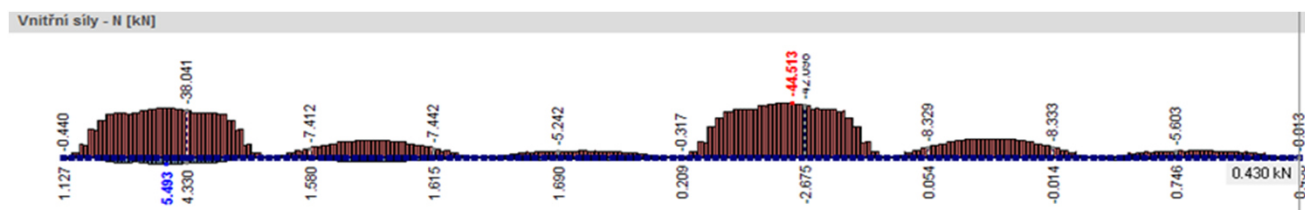
U mezního stavu použitelnosti se pro okamžitý průhyb používá charakteristická kombinace a pro konečný průhyb kvazistálá kombinace s příslušným součinitelem k_{def} .

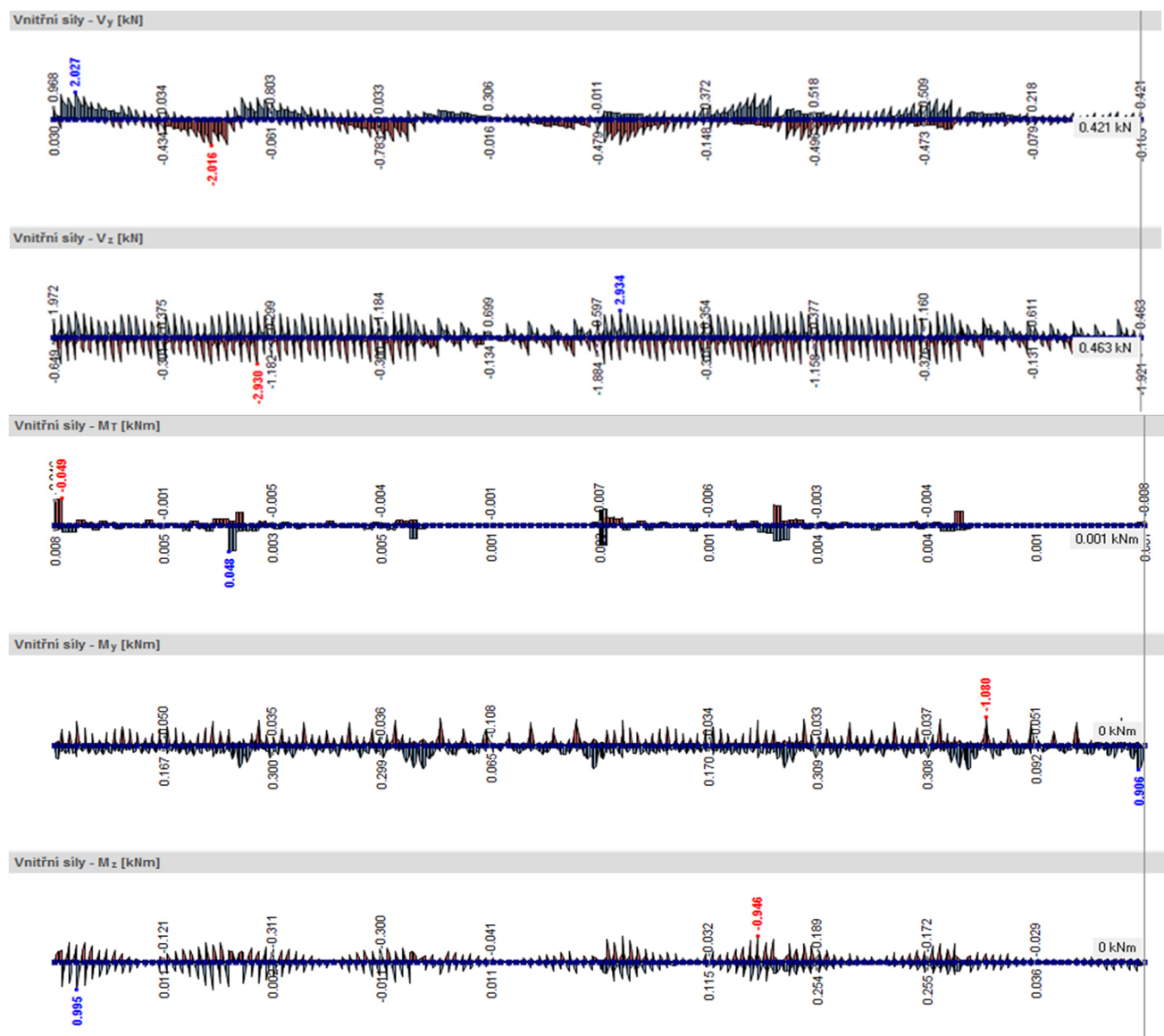
Výpočet

Analýza konstrukce je provedena ve studentské verzi programu RFEM 5.01 od společnosti Dlubal Software s.r.o. Metoda analýzy je podle I.řádu (geometricky lineární výpočet). Jsou vypočteny přetvoření a účinky zatížení pro jednotlivé zatěžovací stavy a kombinace. Kombinace zatížení jsou dále uvažovány pro kombinaci výsledků zahrnující maximální a minimální hodnoty ze všech kombinací zatížení. Ta je přehledně vykreslena po délce konstrukce.

Výsledky výpočtu

kombinace výsledků pro únosnost (uvažované pruty jsou vykresleny vedle sebe)





odpovídající vnitřní síly maximálním hodnotám

Místo x [m]		N	Síly [kN] Vy	Vz	MT	Momenty [kNm] My	Mz	Příslu
1.250	Min N	-44.513	0.314	-1.160	0.003	-0.221	-0.087	KZ 452
Místo x [m]		N	Síly [kN] Vy	Vz	MT	Momenty [kNm] My	Mz	Příslu
0.000	Max N	5.493	0.011	-0.516	0.001	0.092	-0.013	KZ 155
Místo x [m]		N	Síly [kN] Vy	Vz	MT	Momenty [kNm] My	Mz	Příslu
0.000	Min My	-2.610	-0.554	2.179	0.000	-1.080	-0.208	KZ 344
Místo x [m]		N	Síly [kN] Vy	Vz	MT	Momenty [kNm] My	Mz	Příslu
0.000	Max Mz	18.907	2.027	2.887	-0.002	-0.944	0.995	KZ 344
STR KZ155	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS15							
STR KZ344	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 1.5*ZS3 + 0.9*ZS11 + 0.6*ZS17							
STR KZ452	1.15*ZS1 + 1.15*ZS2 + 0.75*ZS3 + 0.9*ZS13 + 1.5*ZS17							

tabulka návrhových vnitřních síl

		tlak $N_{Ed, odp}$	tah $N_{Ed, odp}$	ohyb y $M_{Ed, odp}$	ohyb z $M_{Ed, odp}$	
N_{max}	44.5 kN (tlak)	-	-	0.22	0.09	KZ 452
N_{max}	5.5 kN (tah)	-	-	0.09	0.01	KZ 155
$V_{y, max}$	2.0 kN					
$V_{z, max}$	2.9 kN					
$M_{T, max}$	0.05 kNm					
$M_{y, max}$	1.08 kNm	2.61	0	-	0.21	KZ 344
$M_{z, max}$	1.00 kNm	19	0.00	0.94	-	KZ 344

3.9.2 Výpočet návrhových hodnot pevností a průřezových charakteristik

Pevnostní a tuhostní vlastnosti materiálu v charakteristických hodnotách

Třída pevnosti		GL 24h
Pevnostní vlastnosti [MPa]		
Ohyb	$f_{m, k}$	24
Tah II s vlákny	$f_{t, 0, k}$	19.2
Tah \perp k vláknům	$f_{t, 90, k}$	0.5
Tlak II s vlákny	$f_{c, 0, k}$	24
Tlak \perp k vláknům	$f_{c, 90, k}$	2.5
Smyk	$f_{v, k}$	3.5
Tuhostní vlastnosti [GPa]		
Průměrná hodnota modulu pružnosti II s vlákny	$E_{0, mean}$	11.5
5% kvantil modulu pružnosti II s vlákny	$E_{0.05}$	9.6
Průměrná hodnota modulu pružnosti \perp k vláknům	$E_{90, mean}$	0.3
Průměrná hodnota modulu pružnosti ve smyku	G_{mean}	0.65
Hustota [kg/m³]		
Hustota	ρ_k	385
Průměrná hodnota hustoty	ρ_{mean}	420

Zatížení a vlivy prostředí

Třída trvání zatížení

zatížení	třída trvání zatížení
vlastní tíha	stálé
ostatní stálé	stálé
sníh	krátkodobé
vítr	krátkodobé
dav lidí	krátkodobé

Třída provozu

Vaznice jsou pod střechou, která tyto prvky chrání.
Třída provozu je proto 2.

Součinitele potřebné pro návrhové hodnoty pevností a tuhostí

Modifikační součinitele pevnosti pro třídy provozu a třídy trvání zatížení

a) modifikační součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti

k_{mod} 0.9 (lepené lamelové dřevo, třída provozu 2, krátkodobé zat.)

b) součinitel zvětšující únosnost v ohybu $f_{m,k}$

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0.1}, 1.1 \right\} \quad \text{vzorec pro lepené lamelové dřevo}$$

$$h = 100 \text{ mm}$$

$$k_{h,y} = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0.1}, 1.1 \right\} = \min \left\{ \left(\frac{600}{100} \right)^{0.1}, 1.1 \right\} = 1.10 \quad (\text{ohyb kolem osy } y)$$

$$b = 80 \text{ mm}$$

$$k_{h,z} = \min \left\{ \left(\frac{600}{b} \right)^{0.1}, 1.1 \right\} = \min \left\{ \left(\frac{600}{80} \right)^{0.1}, 1.1 \right\} = 1.10 \quad (\text{ohyb kolem osy } z)$$

c) součinitel zvětšující únosnost v tahu II s vlákny $f_{t,0,k}$

$$h = 100 \text{ mm}$$

h ... maximální rozměr průřezu

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0.1}, 1.1 \right\} = \min \left\{ \left(\frac{600}{100} \right)^{0.1}, 1.1 \right\} = 1.10$$

Modifikační součinitel deformace pro třídy provozu - součinitel deformace

k_{def} 0.8 (lepené lamelové dřevo, třída provozu 2)

Výpočet návrhových pevnostních a tuhostních vlastností materiálu

návrhové hodnoty pevnostních vlastností materiálu

$$X_d = k_{mod} \frac{X_k}{\gamma_M}$$

dílčí součinitel vlastnosti materiálu

γ_M 1.25 pro lepené lamelové dřevo

$$f_{m,y,d} = k_{mod} * k_{h,y} * f_{m,k} / \gamma_M = 0.9 * 1.10 * 24 / 1.25 = 19.01 \text{ MPa}$$

$$f_{m,z,d} = k_{mod} * k_{h,z} * f_{m,k} / \gamma_M = 0.9 * 1.10 * 24 / 1.25 = 19.01 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} * k_h * f_{t,0,k} / \gamma_M = 0.9 * 1.10 * 19.2 / 1.25 = 15.21 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,d} = k_{mod} * f_{t,90,k} / \gamma_M = 0.9 * 0.5 / 1.25 = 0.36 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} * f_{c,0,k} / \gamma_M = 0.9 * 24 / 1.25 = 17.28 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,d} = k_{mod} * f_{c,90,k} / \gamma_M = 0.9 * 2.5 / 1.25 = 1.80 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} * f_{v,k} / \gamma_M = 0.9 * 3.5 / 1.25 = 2.52 \text{ MPa}$$

návrhové hodnoty tuhostních vlastností materiálu

$$E_{0,d} = E_{0,mean} / \gamma_M = 11.5 / 1.25 = 9.20 \text{ MPa}$$

$$E_{90,d} = E_{90,mean} / \gamma_M = 0.3 / 1.25 = 0.24 \text{ MPa}$$

$$G_d = G_{mean} / \gamma_M = 0.65 / 1.25 = 0.52 \text{ MPa}$$

$$E_d = \frac{E_{mean}}{\gamma_M}$$

$$G_d = \frac{G_{mean}}{\gamma_M}$$

Průřezové charakteristiky

$$h = 100 \text{ mm}$$

$$b = 80 \text{ mm}$$

$$A = h * b = 100 * 80 = 8\,000 \text{ mm}^2$$

$$A_{net} = 6\,300 \text{ mm}^2$$

$$W_y = \frac{1}{6} b h^2 = \frac{1}{6} * 80 * 100^2 = 1.33E+05 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6} h b^2 = \frac{1}{6} * 100 * 80^2 = 1.07E+05 \text{ mm}^3$$

$$I_y = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} * 80 * 100^3 = 6.67E+06 \text{ mm}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} h b^3 = \frac{1}{12} * 100 * 80^3 = 4.27E+06 \text{ mm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{6.67E+06}{8\,000}} = 28.87 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{4.27E+06}{8\,000}} = 23.09 \text{ mm}$$

výška průřezu

šířka průřezu (min. pro GL)

plocha průřezu

oslabená plocha

průřezový modul

moment setrvačnosti

poloměr setrvačnosti

3.9.3 Mezní stav únosnosti

Podle ČSN EN 1995-1-1.

Tah rovnoběžně s vlákny

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

$f_{t,0,d}$ návrhová pevnost v tahu podél vláken

$\sigma_{t,0,d}$ návrhové napětí v tahu podél vláken

a) maximální tah

N_{Ed} 5.493 kN

$$\sigma_{t,0,d} = N_{Ed} / A_{net} = 5\,493 / 6\,300 = 0.87 \text{ MPa}$$

$\sigma_{t,0,d} < f_{t,0,d}$	0.87	<	15.21	vyhovuje	5.73%
------------------------------	------	---	-------	----------	-------

Vzpěrná únosnost

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} \leq 1 \quad \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \leq 1$$

$f_{c,0,d}$ návrhová pevnost v tlaku podél vláken

$\sigma_{c,0,d}$ návrhové napětí v tlaku podél vláken

vzpěrné délky

$L_{cr,y}$	1250 mm	vzdálenost kroků
$L_{cr,z}$	50 mm	odhadovaná vzdálenost spojovacích prostředků

při vzpěru \perp k ose z brání vybočení trapézový plech

štíhlost prutu λ

$$\lambda_y = L_{cr,y} / i_y = 1\,250 / 28.87 = 43.30$$

$$\lambda_z = L_{cr,z} / i_z = 50 / 23.09 = 2.17$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0.05}}} = \frac{43.30}{\pi} \sqrt{\frac{24}{9\,600}} = 0.69 > 0.3 \dots \text{vyhovuje}$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0.05}}} = \frac{2.17}{\pi} \sqrt{\frac{24}{9\,600}} = 0.03 < 0.3 \dots \text{nevyhovuje, } k_{c,z} = 1.00$$

β_c 0.1 pro lepené lamelové dřevo

$$k_y = 0.5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2) = 0.5 * (1 + 0.1 * (0.69 - 0.3) + 0.69^2) = 0.76$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0.76 + \sqrt{0.76^2 - 0.69^2}} = 0.93$$

$$k_{c,z} = 1.00$$

a) maximální tlak

$$N_{Ed} = 44.513 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed} / A = 44.513 / 8.000 = 5.56 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} = \frac{5.56}{0.93 * 17.28} = 0.34 < 1 \quad \text{vyhovuje} \quad 34.45\%$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} = \frac{5.56}{1.00 * 17.28} = 0.32 < 1 \quad \text{vyhovuje} \quad 32.20\%$$

Příčná a torzní stabilita v kombinaci se vzpěrem

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} * f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \leq 1$$

$\sigma_{m,d}$ návrhové napětí v ohybu

$\sigma_{c,d}$ návrhové napětí v tlaku

$f_{c,0,d}$ návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny

a) pro návrhové momenty $M_{y,Ed}$

$$l_{ef} = 0.9 * L_{cr,z} + 2 * h = 0.9 * 50 + 2 * 100 = 245 \text{ mm}$$

Délka je zvětšena o dvojnásobek rozměru, který je ve směru ohybu, protože v tomto směru působí zatížení od trapézového plechu přímo na prut.

l_{ef} účinná délka

kritické napětí v ohybu $\sigma_{m,crit}$

vypočtené podle klasické teorie stability s hodnotami 5% kvantilu tuhosti

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0.78 * b^2}{h * l_{ef}} * E_{0.05} = \frac{0.78 * 80^2}{100 * 245} * 9.600 = 1.956 \text{ MPa}$$

poměrná štíhlost v ohybu $\lambda_{rel,m}$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24 * 1.10}{1.956}} = 0.116$$

součinitel k_{crit}

$k_{crit} = 1$ pro $\lambda_{rel,m} < 0.75$

výběr na základě λ

a) maximální ohybový moment kolem osy y a odpovídající tlaková síla

$$M_{Ed} = 1.08 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = M_{Ed} / W_y = 1.08 \cdot 10^6 / 1.33 \cdot 10^5 = 8.10 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 2.61 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed} / A = 2610 / 8000 = 0.33 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \left(\frac{8.10}{1 \cdot 19.01} \right)^2 + \frac{0.33}{1.00 \cdot 17.28} = 0.20 \leq 1 \quad \text{vyhovuje} \quad 20.05\%$$

b) maximální tlaková síla a odpovídající ohybový moment kolem osy y

$$M_{Ed} = 0.221 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = M_{Ed} / W_y = 0.221 \cdot 10^6 / 1.33 \cdot 10^5 = 1.66 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 44.513 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed} / A = 44513 / 8000 = 5.56 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \left(\frac{1.66}{1 \cdot 19.01} \right)^2 + \frac{5.56}{1.00 \cdot 17.28} = 0.33 \leq 1 \quad \text{vyhovuje} \quad 32.96\%$$

b) pro návrhové momenty $M_{z,Ed}$

$$l_{ef} = 0.9 \cdot L_{cr,y} = 0.9 \cdot 1250 = 1125 \text{ mm}$$

l_{ef} účinná délka

kritické napětí v ohybu $\sigma_{m,crit}$

vypočtené podle klasické teorie stability s hodnotami 5% kvantilu tuhosti

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0.78 \cdot h^2}{b \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = \frac{0.78 \cdot 100^2}{80 \cdot 1125} \cdot 9600 = 832 \text{ MPa}$$

poměrná štíhlost v ohybu $\lambda_{rel,m}$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24 * 1.10}{832}} = 0.178$$

součinitel k_{crit}

$k_{crit} = 1$ pro $\lambda_{rel,m} < 0.75$

výběr na základě lambda

a) maximální ohybový moment kolem osy z a odpovídající tlaková síla

$$M_{Ed} \quad 0.995 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = M_{Ed} / W_z = 0.995 * 10^6 / 1.07 * 10^5 = 9.33 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} \quad 18.907 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed} / A = 18\,907 / 8\,000 = 2.36 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} * f_{m,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} = \left(\frac{9.33}{1 * 19.01}\right)^2 + \frac{2.36}{0.93 * 17.28} = 0.39 \leq 1$$

vyhovuje

38.72%

b) maximální tlaková síla a odpovídající ohybový moment kolem osy z

$$M_{Ed} \quad 0.087 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = M_{Ed} / W_z = 0.087 * 10^6 / 1.07 * 10^5 = 0.82 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} \quad 44.513 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed} / A = 44\,513 / 8\,000 = 5.56 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} * f_{m,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} = \left(\frac{0.82}{1 * 19.01}\right)^2 + \frac{5.56}{0.93 * 17.28} = 0.35 \leq 1$$

vyhovuje

34.64%

Kombinace ohybu a osového tahu

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{kombinace 1 (K1)}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{kombinace 2 (K2)}$$

součinitel k_m

0.7 pro obdélníkové průřezy

		$\sigma_{t,0,d}$ [MPa]	$\sigma_{m,y,d}$ [MPa]	$\sigma_{m,z,d}$ [MPa]
kombinace pro $N_{Ed,max}$ (tah)				
N_{Ed} [kN]	5.493	0.87	-	-
$M_{y,Ed}$ [kNm]	0.09	-	0.69	-
$M_{z,Ed}$ [kNm]	0.01	-	-	0.12

K1
0.098
obě hodnoty < 1 ... vyhovuje

K2
0.089

9.81%

Kombinace ohybu a vzpěru

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{kombinace 1 (K1)}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{kombinace 2 (K2)}$$

součinitel k_m

0.7 pro obdélníkové průřezy

		$\sigma_{c,0,d}$ [MPa]	$\sigma_{m,y,d}$ [MPa]	$\sigma_{m,z,d}$ [MPa]
a) kombinace pro $N_{Ed,max}$ (tlak)				
N_{Ed} [kN]	44.513	5.56	-	-
$M_{y,Ed}$ [kNm]	0.221	-	1.66	-
$M_{z,Ed}$ [kNm]	0.09	-	-	0.82

b) kombinace pro $M_{y,Ed,max}$

N_{Ed} [kN]	3	0.33	-	-
$M_{y,Ed}$ [kNm]	1.08	-	8.10	-
$M_{z,Ed}$ [kNm]	0.21	-	-	1.95

c) kombinace pro $M_{z,Ed,max}$

N_{Ed} [kN]	18.91	2.36	-	-
$M_{y,Ed}$ [kNm]	0.94	-	7.08	-
$M_{z,Ed}$ [kNm]	1.00	-	-	9.33

K1
a 0.462
b 0.518
c 0.862

K2
0.448
0.421
0.898

všechny hodnoty < 1 ... vyhovuje

89.78%

Zakřivený nosník

Zakřivený nosník má oblast zvanou vrcholovou část, která se vyskytuje nad zakřivenou částí nosníku. V případě vaznice je tato oblast po celé délce prutu.

1. Posouzení napětí v ohybu

Ve vrcholové části mají napětí v ohybu splňovat následující podmínku.

$$\sigma_{m,d} \leq k_r * f_{m,d}$$

k_r součinitel zohledňující snížení pevnosti způsobené ohybem lamel během výroby
 $\sigma_{m,d}$ napětí v ohybu ve vrcholu

součinitel k_1

α_{ap} úhel sklonu náběhu ve středu vrcholové oblasti
 α_{ap} 0 ° pro zakřivený nosník

r_{in} vnitřní poloměr
 r_{in} 112 950 mm

h_{ap} výška nosníku ve vrcholu
 $h_{ap} = h$ 100 mm

$$k_1 = 1 + 1.4 * \operatorname{tg} \alpha_{ap} + 5.4 * \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 1 + 1.4 * \operatorname{tg} 0 + 5.4 * \operatorname{tg}^2 0 = 1$$

$$k_2 = 0.35 - 8 * \operatorname{tg} \alpha_{ap} = 0.35 - 8 * \operatorname{tg} 0 = 0.35$$

$$k_3 = 0.6 + 8.3 * \operatorname{tg} \alpha_{ap} - 7.8 * \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 0.6 + 8.3 * \operatorname{tg} 0 - 7.8 * \operatorname{tg}^2 0 = 0.6$$

$$k_4 = 6 * \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 6 * \operatorname{tg}^2 0 = 0$$

$$r = r_{in} + 0.5 * h_{ap} = 112\,950 + 0.5 * 100 = 113\,000 \text{ mm}$$

$$k_l = k_1 + k_2 * \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_3 * \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2 + k_4 * \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^3$$

$$k_l = 1 + 0.35 * \left(\frac{100}{113\,000}\right) + 0.6 * \left(\frac{100}{113\,000}\right)^2 + 0 * \left(\frac{100}{113\,000}\right)^3 = 1.0003$$

součinitel k_r

t tloušťka lamely
 t 20 mm tloušťka lamely se vyrábí se mezi 6 - 45 mm

$$r_{in} / t = 112\,950 / 20 = 5\,647.5$$

$k_r = 1$ pro poměr $r_{in}/t > 240$

k_r 1

napětí v ohybu ve vrcholu $\sigma_{m,d}$

$$M_{ap,d} \quad 1.08 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = k_l * \frac{6 * M_{ap,d}}{b * h_{ap}^2} = 1.0003 * \frac{6 * 1.08 * 10^6}{80 * 100^2} = 8.10 \text{ MPa}$$

posouzení

$$\sigma_{m,d} \leq k_r * f_{m,d}$$

$$8.10 < 19.01 \quad \text{vyhovuje} \quad 42.63\%$$

Napětí vychází stejně jako kdyby nosník nebyl zakřivený a proto se v části výpočtu příčné a torzní stability nosníku ponechá stávající vztah.

2. Posouzení napětí kolmo k vláknům v kombinaci se smykem

Napětí pro tuto kombinaci mají splňovat následující podmínku.

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} * k_{vol} * f_{t,90,d}} \leq 1$$

$\sigma_{t,90,d}$	návrhové napětí v tahu kolmo k vláknům
k_{dis}	součinitel zohledňující účinek rozdělení napětí ve vrcholové oblasti
k_{vol}	součinitel objemu

součinitel k_{dis}

$$k_{dis} \quad 1.4 \quad \text{pro zakřivené nosníky}$$

součinitel k_{vol}

$$V_0 \quad \text{referenční objem}$$

$$V_0 \quad 0.01 \text{ m}^3$$

$$L_s \quad \text{délka střednice oblouku}$$

$$L_s \quad 30\,089 \text{ mm}$$

$$V_b \quad \text{celkový objem nosníku}$$

$$V_b = h_{ap} * b * L_s = 0.1 * 0.08 * 30.089 = 0.24 \text{ m}^3$$

$$V \quad \text{namáhaný objem vrcholové části}$$

$$V = 2 * V_b / 3 = 2 * 0.24 / 3 = 0.16 \text{ m}^3$$

$$k_{vol} = (V_0 / V)^{0.2} = (0.01 / 0.16)^{0.2} = 0.54 \quad \text{pro lepené lamelové dřevo}$$

součinitel k_p

$$k_5 = 0.2 * \operatorname{tg} \alpha_{ap} = 0.2 * \operatorname{tg} 0 = 0$$

$$k_6 = 0.25 - 1.5 * \operatorname{tg} \alpha_{ap} + 2.6 * \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 0.25 - 1.5 * \operatorname{tg} 0 + 2.6 * \operatorname{tg}^2 0 = 0.25$$

$$k_7 = 2.1 * \operatorname{tg} \alpha_{ap} - 4 * \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 2.1 * \operatorname{tg} 0 - 4 * \operatorname{tg}^2 0 = 0$$

$$k_p = k_5 + k_6 * \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_7 * \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2 = 0 + 0.25 * \left(\frac{100}{113\,000}\right) + 0 * \left(\frac{100}{113\,000}\right)^2 = 0.0002$$

napětí $\sigma_{t,90,d}$

$$\sigma_{t,90,d} = k_p * \frac{6 * M_{ap,d}}{b * h_{ap}^2} = 0.0002 * \frac{6 * 1.08 * 10^6}{80 * 100^2} = 0.0018 \text{ MPa}$$

Napětí je zanedbatelné a proto se kombinace se smykem nebude uvažovat.

Smyk

$$f_{v,d} \quad 2.52 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} * \frac{V_{Ed}}{A_v}$$

maximální smyková síla

$$V_{Ed} \quad 2.934 \text{ kN}$$

$$A_v = A \quad 8000 \text{ mm}^2$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} * \frac{V_{Ed}}{A_v} = \frac{3}{2} * \frac{2\,934}{8\,000} = 0.55$$

$$\tau_d < f_{v,d} \quad 0.55 < 2.52 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje} \quad 21.83\%$$

3.9.4 Mezní stav použitelnosti

Podle ČSN EN 1995-1-1 (7.2 - Mezní hodnoty průhybů nosníků, 2.2.3 - Mezní stavy použitelnosti)

limitní hodnoty průhybu

$$L \quad 1250 \text{ mm}$$

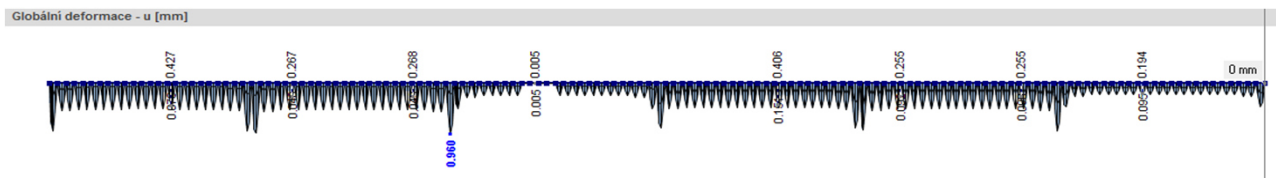
$$L/300 \quad 4.2 \text{ mm} \quad \text{pro okamžitý průhyb } u_{inst}$$

$$L/250 \quad 5.0 \text{ mm} \quad \text{pro konečný průhyb } u_{fin}$$

poznámka: protože prvek je bez nadvýšení, pro jednoduchost píše místo $u_{net,fin} - u_{fin}$.

1. Okamžitý průhyb

kombinace výsledků charakteristické kombinace



posouzení

$u_{inst} < L/300$ 0.960 < 4.2 mm vyhovuje

2. Konečný průhyb

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q1} + u_{fin,Qi}$$

$$u_{fin,G} = u_{inst,G} * (1 + k_{def}) \quad \text{stálé zatížení}$$

$$u_{fin,Q,1} = u_{inst,Q,1} * (1 + \psi_{2,1} * k_{def})$$

$$u_{fin,Q,i} = u_{inst,Q,i} * (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} * k_{def})$$

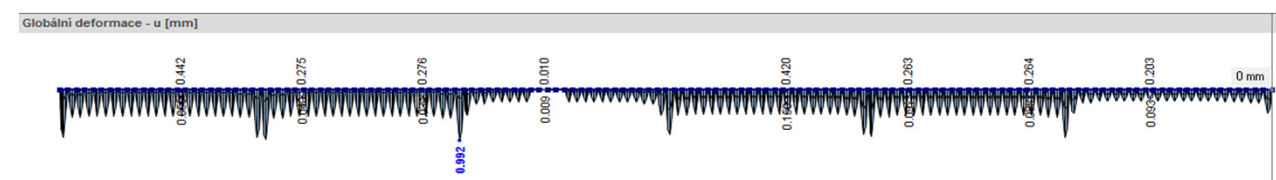
$$k_{def} \quad 0.8$$

Kvazistálá kombinace zatížení v programu RFEM v sobě výše uvedené vztahy zahrnuje.

MSP - kvazistálá

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} (1 + k_{def}) + P + Q_{k,1} (1 + \psi_{2,1} k_{def}) + \sum_{i > 1} Q_{k,i} (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} k_{def})$$

kombinace výsledků kvazistálé kombinace



posouzení

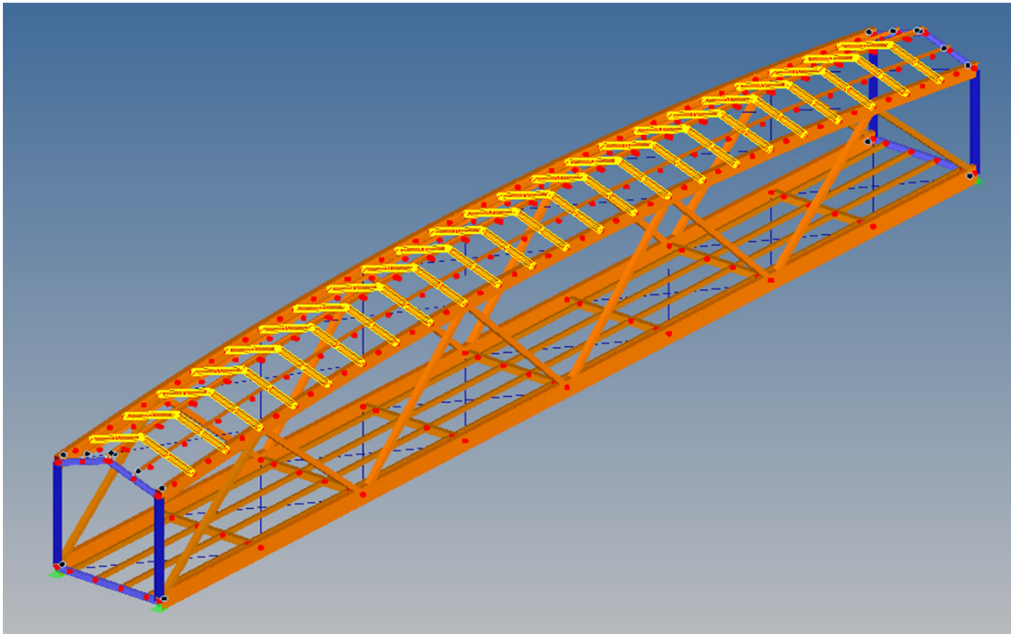
$u_{fin} < L/250$ 0.992 < 5.0 mm vyhovuje

3.10 Krokev (23ks)

Je provedena z lepeného lamelového dřeva třídy GL 24h

3.10.1 Poloha v konstrukci, zatížení, výpočet a vnitřní síly

Poloha kroků v prostorové příhradové konstrukci



Zatěžovací stavy, kombinace zatížení a výpočet

Zatěžovací stavy

Platí pro celou příhradovou konstrukci stejné.

Kombinace zatížení

Pro mezní stav únosnosti se uvažuje kombinace 6.10a a 6.10b.

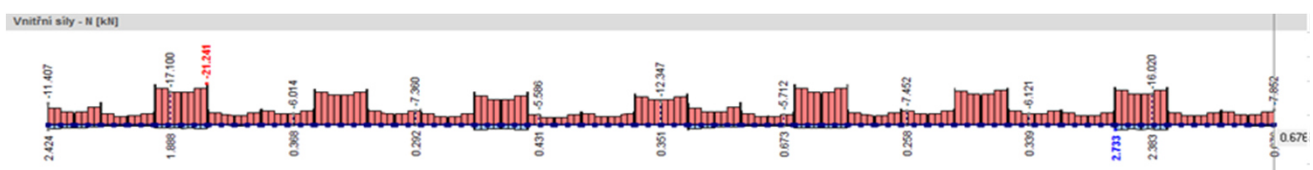
U mezního stavu použitelnosti se pro okamžitý průhyb používá charakteristická kombinace a pro konečný průhyb kvazistálá kombinace s příslušným součinitelem k_{def} .

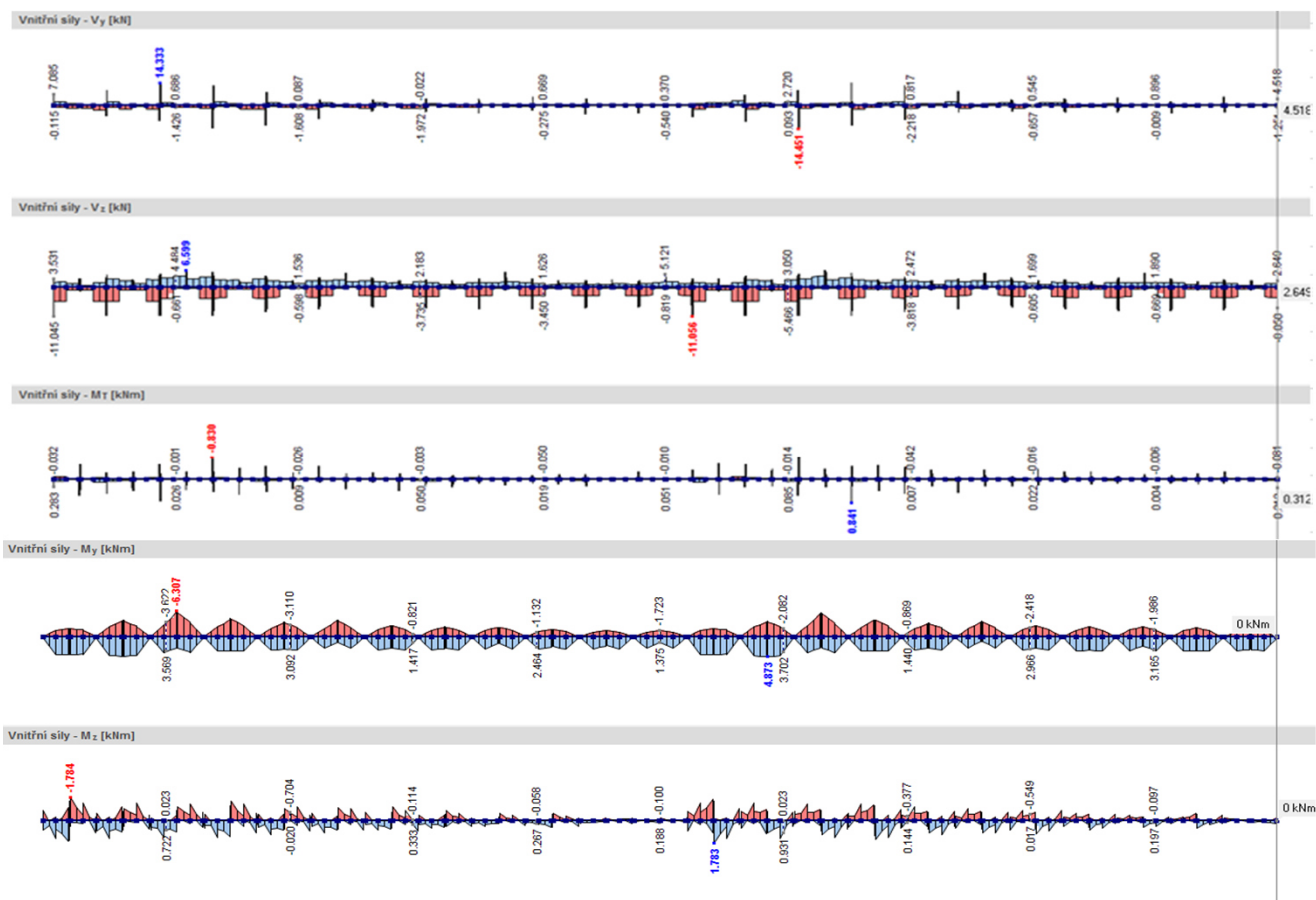
Výpočet

Analýza konstrukce je provedena ve studentské verzi programu RFEM 5.01 od společnosti Dlubal Software s.r.o. Metoda analýzy je podle I.řádu (geometricky lineární výpočet). Jsou vypočteny přetvoření a účinky zatížení pro jednotlivé zatěžovací stavy a kombinace. Kombinace zatížení jsou dále uvažovány pro kombinaci výsledků zahrnující maximální a minimální hodnoty ze všech kombinací zatížení. Ta je přehledně vykreslena po délce konstrukce.

Výsledky výpočtu

kombinace výsledků pro únosnost (uvažované pruty jsou vykresleny vedle sebe)





odpovídající vnitřní síly maximálním hodnotám

Místo x [m]		N	Síly [kN] Vy	Vz	MT	Momenty [kNm] My	Mz	
0.025	Min N	-21.241	-10.679	-10.489	-0.685	0.262	-0.267	KZ 296
Místo x [m]		N	Síly [kN] Vy	Vz	MT	Momenty [kNm] My	Mz	
0.000	Max N	2.733	-2.119	0.459	-0.089	-0.023	-0.106	KZ 397
Místo x [m]		N	Síly [kN] Vy	Vz	MT	Momenty [kNm] My	Mz	
0.000	Min My	-13.505	-1.420	3.571	0.146	-6.307	-0.413	KZ 274
Místo x [m]		N	Síly [kN] Vy	Vz	MT	Momenty [kNm] My	Mz	
0.000	Min Mz	-7.024	-2.006	-0.188	0.010	4.369	-1.784	KZ 344

STR KZ274 | $1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS15 + 0.6 \cdot ZS17$

STR KZ296 | $1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS3 + 0.9 \cdot ZS11$

STR KZ344 | $1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS3 + 0.9 \cdot ZS11 + 0.6 \cdot ZS17$

STR KZ397 | $1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.9 \cdot ZS10 + 1.5 \cdot ZS18$

tabulka návrhových vnitřních síl

		tlak $N_{Ed, odp}$	tah $N_{Ed, odp}$	ohyb y $M_{Ed, odp}$	ohyb z $M_{Ed, odp}$	
N_{max}	21.24 kN (tlak)	-	-	0.26	0.27	KZ 296
N_{max}	2.73 kN (tah)	-	-	0.02	0.11	KZ 397
$V_{y, max}$	14.45 kN					
$V_{z, max}$	11.06 kN					
$M_{T, max}$	0.84 kNm					
$M_{y, max}$	6.31 kNm	13.51	0	-	0.41	KZ 274
$M_{z, max}$	1.78 kNm	7.02	0	4.37	-	KZ 344

3.10.2 Výpočet návrhových hodnot pevností a průřezových charakteristik

Pevnostní a tuhostní vlastnosti materiálu v charakteristických hodnotách

Třída pevnosti		GL 24h
Pevnostní vlastnosti [MPa]		
Ohyb	$f_{m, k}$	24
Tah II s vlákny	$f_{t, 0, k}$	19.2
Tah \perp k vláknům	$f_{t, 90, k}$	0.5
Tlak II s vlákny	$f_{c, 0, k}$	24
Tlak \perp k vláknům	$f_{c, 90, k}$	2.5
Smyk	$f_{v, k}$	3.5
Tuhostní vlastnosti [GPa]		
Průměrná hodnota modulu pružnosti II s vlákny	$E_{0, mean}$	11.5
5% kvantil modulu pružnosti II s vlákny	$E_{0.05}$	9.6
Průměrná hodnota modulu pružnosti \perp k vláknům	$E_{90, mean}$	0.3
Průměrná hodnota modulu pružnosti ve smyku	G_{mean}	0.65
Hustota [kg/m³]		
Hustota	ρ_k	385
Průměrná hodnota hustoty	ρ_{mean}	420

Zatížení a vlivy prostředí

Třída trvání zatížení

zatížení	třída trvání zatížení
vlastní tíha	stálé
ostatní stálé	stálé
sníh	krátkodobé
vítr	krátkodobé
dav lidí	krátkodobé

Třída provozu

Krokve jsou pod střechou a nepředpokládá se vysoká vlhkost.
Třída provozu je 2.

Součinitele potřebné pro návrhové hodnoty pevností a tuhostí

Modifikační součinitele pevnosti pro třídy provozu a třídy trvání zatížení

a) modifikační součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti

k_{mod} 0.9 (lepené lamelové dřevo, třída provozu 2, krátkodobé zat.)

b) součinitel zvětšující únosnost v ohybu $f_{m,k}$

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0.1} \right. \quad \left. \begin{array}{l} 1.1 \end{array} \right. \quad \text{vzorec pro lepené lamelové dřevo}$$

$$h = 160 \text{ mm}$$

$$k_{h,y} = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0.1} \right. \quad \left. \begin{array}{l} 1.1 \end{array} \right\} = \min \left\{ \left(\frac{600}{160} \right)^{0.1} \right. \quad \left. \begin{array}{l} 1.1 \end{array} \right\} = 1.10 \quad (\text{ohyb kolem osy } y)$$

$$b = 100 \text{ mm}$$

$$k_{h,z} = \min \left\{ \left(\frac{600}{b} \right)^{0.1} \right. \quad \left. \begin{array}{l} 1.1 \end{array} \right\} = \min \left\{ \left(\frac{600}{100} \right)^{0.1} \right. \quad \left. \begin{array}{l} 1.1 \end{array} \right\} = 1.10 \quad (\text{ohyb kolem osy } z)$$

c) součinitel zvětšující únosnost v tahu II s vlákny $f_{t,0,k}$

$$h = 160 \text{ mm}$$

h ... maximální rozměr průřezu

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0.1} \right. \quad \left. \begin{array}{l} 1.1 \end{array} \right\} = \min \left\{ \left(\frac{600}{160} \right)^{0.1} \right. \quad \left. \begin{array}{l} 1.1 \end{array} \right\} = 1.10$$

Modifikační součinitel deformace pro třídy provozu - součinitel deformace

k_{def} 0.8 (lepené lamelové dřevo, třída provozu 2)

Výpočet návrhových pevnostních a tuhostních vlastností materiálu

návrhové hodnoty pevnostních vlastností materiálu

$$X_d = k_{mod} \frac{X_k}{\gamma_M}$$

dílčí součinitel vlastnosti materiálu

γ_M

1.25 pro lepené lamelové dřevo

$$f_{m,y,d} = k_{mod} * k_{h,y} * f_{m,k} / \gamma_M = 0.9 * 1.10 * 24 / 1.25 = 19.01 \text{ MPa}$$

$$f_{m,z,d} = k_{mod} * k_{h,z} * f_{m,k} / \gamma_M = 0.9 * 1.10 * 24 / 1.25 = 19.01 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} * k_h * f_{t,0,k} / \gamma_M = 0.9 * 1.10 * 19.2 / 1.25 = 15.21 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,d} = k_{mod} * f_{t,90,k} / \gamma_M = 0.9 * 0.5 / 1.25 = 0.36 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} * f_{c,0,k} / \gamma_M = 0.9 * 24 / 1.25 = 17.28 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,d} = k_{mod} * f_{c,90,k} / \gamma_M = 0.9 * 2.5 / 1.25 = 1.80 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} * f_{v,k} / \gamma_M = 0.9 * 3.5 / 1.25 = 2.52 \text{ MPa}$$

návrhové hodnoty tuhostních vlastností materiálu

$$E_{0,d} = E_{0,mean} / \gamma_M = 11.5 / 1.25 = 9.20 \text{ MPa}$$

$$E_{90,d} = E_{90,mean} / \gamma_M = 0.3 / 1.25 = 0.24 \text{ MPa}$$

$$G_d = G_{mean} / \gamma_M = 0.65 / 1.25 = 0.52 \text{ MPa}$$

$$E_d = \frac{E_{mean}}{\gamma_M}$$

$$G_d = \frac{G_{mean}}{\gamma_M}$$

Průřezové charakteristiky

$$h = 160 \text{ mm}$$

výška průřezu

$$b = 100 \text{ mm}$$

šířka průřezu

$$A = h * b = 160 * 100 = 16\,000 \text{ mm}^2$$

plocha průřezu

$$A_{net} = 13\,500 \text{ mm}^2$$

oslabená plocha

$$W_y = \frac{1}{6} b h^2 = \frac{1}{6} * 100 * 160^2 = 4.27E+05 \text{ mm}^3$$

průřezový modul

$$W_z = \frac{1}{6} h b^2 = \frac{1}{6} * 160 * 100^2 = 2.67E+05 \text{ mm}^3$$

$$I_y = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} * 100 * 160^3 = 3.41E+07 \text{ mm}^4$$

moment setrvačnosti

$$I_z = \frac{1}{12} h b^3 = \frac{1}{12} * 160 * 100^3 = 1.33E+07 \text{ mm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{3.41E+07}{16\,000}} = 46.19 \text{ mm}$$

poloměr setrvačnosti

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{1.33E+07}{16\,000}} = 28.87 \text{ mm}$$

3.10.3 Mezní stav únosnosti

Podle ČSN EN 1995-1-1.

Tah rovnoběžně s vlákny

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

$f_{t,0,d}$ návrhová pevnost v tahu podél vláken

$\sigma_{t,0,d}$ návrhové napětí v tahu podél vláken

a) maximální tah

$$N_{Ed} = 2.733 \text{ kN}$$

$$\sigma_{t,0,d} = N_{Ed} / A_{net} = 2.733 / 13.500 = 0.20 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t,0,d} < f_{t,0,d} \quad 0.20 < 15.21 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje} \quad 1.33\%$$

Vzpěrná únosnost

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} \leq 1 \quad \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \leq 1$$

$f_{c,0,d}$ návrhová pevnost v tlaku podél vláken

$\sigma_{c,0,d}$ návrhové napětí v tlaku podél vláken

vzpěrné délky

$$L_{cr,y} = 3000 \text{ mm} \quad \text{osová vzdálenost hlavních nosníků}$$

$$L_{cr,z} = 3000 \text{ mm} \quad \text{osová vzdálenost hlavních nosníků}$$

štíhlost prutu λ

$$\lambda_y = L_{cr,y} / i_y = 3000 / 46.19 = 64.95$$

$$\lambda_z = L_{cr,z} / i_z = 3000 / 28.87 = 103.92$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0.05}}} = \frac{64.95}{\pi} \sqrt{\frac{24}{9600}} = 1.03 > 0.3 \dots \text{vyhovuje}$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0.05}}} = \frac{103.92}{\pi} \sqrt{\frac{24}{9600}} = 1.65 > 0.3 \dots \text{vyhovuje}$$

$$\beta_c = 0.1 \text{ pro lepené lamelové dřevo}$$

$$k_y = 0.5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2) = 0.5 * (1 + 0.1 * (1.03 - 0.3) + 1.03^2) = 1.07$$

$$k_z = 0.5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2) = 0.5 * (1 + 0.1 * (1.65 - 0.3) + 1.65^2) = 1.94$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1.07 + \sqrt{1.07^2 - 1.03^2}} = 0.74$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1.94 + \sqrt{1.94^2 - 1.65^2}} = 0.34$$

a) maximální tlak

$$N_{Ed} \quad 21.241 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed} / A = 21\,241 / 16\,000 = 1.33 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} = \frac{1.33}{0.74 * 17.28} = 0.10 < 1 \quad \text{vyhovuje} \quad 10.38\%$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} = \frac{1.33}{0.34 * 17.28} = 0.23 < 1 \quad \text{vyhovuje} \quad 22.59\%$$

Příčná a torzní stabilita v kombinaci se vzpěrem

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} * f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \leq 1$$

$\sigma_{m,d}$ návrhové napětí v ohybu

$\sigma_{c,d}$ návrhové napětí v tlaku

$f_{c,0,d}$ návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny

a) pro návrhové momenty $M_{y,Ed}$

$$l_{ef} = 0.8 * L_{cr,z} + 2 * h = 0.8 * 3000 + 2 * 160 = 2720 \text{ mm}$$

zvětšení o 2h kvůli přímému zatížení od vaznic

l_{ef} účinná délka

kritické napětí v ohybu $\sigma_{m,crit}$

vypočtené podle klasické teorie stability s hodnotami 5% kvantilu tuhosti

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0.78 * b^2}{h * l_{ef}} * E_{0.05} = \frac{0.78 * 100^2}{160 * 2\,720} * 9\,600 = 172.1 \text{ MPa}$$

poměrná štíhlost v ohybu $\lambda_{rel,m}$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24 * 1.10}{172.1}} = 0.392$$

součinitel k_{crit}

$k_{crit} = 1$ pro $\lambda_{rel,m} < 0.75$

výběr na základě λ

a) maximální ohybový moment kolem osy y a odpovídající tlaková síla

$$M_{Ed} = 6.307 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = M_{Ed} / W_y = 6.307 \cdot 10^6 / 4.27 \cdot 10^5 = 14.78 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 13.505 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed} / A = 13\,505 / 16\,000 = 0.84 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \left(\frac{14.78}{1 \cdot 19.01} \right)^2 + \frac{0.84}{0.34 \cdot 17.28} = 0.75 \leq 1 \quad \text{vyhovuje} \quad 74.84\%$$

b) maximální tlaková síla a odpovídající ohybový moment kolem osy y

$$M_{Ed} = 0.262 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = M_{Ed} / W_y = 0.262 \cdot 10^6 / 4.27 \cdot 10^5 = 0.61 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 21.241 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed} / A = 21\,241 / 16\,000 = 1.33 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \left(\frac{0.61}{1 \cdot 19.01} \right)^2 + \frac{1.33}{0.34 \cdot 17.28} = 0.23 \leq 1 \quad \text{vyhovuje} \quad 22.70\%$$

b) pro návrhové momenty $M_{z,Ed}$

$$l_{ef} = 0.8 \cdot L_{cr,y} = 0.8 \cdot 3000 = 2\,400 \text{ mm}$$

l_{ef} účinná délka

kritické napětí v ohybu $\sigma_{m,crit}$

vypočtené podle klasické teorie stability s hodnotami 5% kvantilu tuhosti

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0.78 \cdot h^2}{b \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = \frac{0.78 \cdot 160^2}{100 \cdot 2\,400} \cdot 9\,600 = 798.7 \text{ MPa}$$

poměrná štíhlost v ohybu $\lambda_{rel,m}$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24 * 1.10}{798.7}} = 0.182$$

součinitel k_{crit}

$k_{crit} = 1$ pro $\lambda_{rel,m} < 0.75$

výběr na základě lambda

a) maximální ohybový moment kolem osy z a odpovídající tlaková síla

$$M_{Ed} \quad 1.784 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = M_{Ed} / W_z = 1.784 * 10^6 / 2.67 * 10^5 = 6.69 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} \quad 7.024 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed} / A = 7.024 / 16.000 = 0.44 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} * f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} = \left(\frac{6.69}{1 * 19.01} \right)^2 + \frac{0.44}{0.74 * 17.28} = 0.16 \leq 1 \quad \text{vyhovuje} \quad 15.82\%$$

b) maximální tlaková síla a odpovídající ohybový moment kolem osy z

$$M_{Ed} \quad 0.267 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = M_{Ed} / W_z = 0.267 * 10^6 / 2.67 * 10^5 = 1.00 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} \quad 21.241 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed} / A = 21.241 / 16.000 = 1.33 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} * f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} = \left(\frac{1.00}{1 * 19.01} \right)^2 + \frac{1.33}{0.74 * 17.28} = 0.11 \leq 1 \quad \text{vyhovuje} \quad 10.66\%$$

Kombinace ohybu a osového tahu

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{kombinace 1 (K1)}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{kombinace 2 (K2)}$$

součinitel k_m 0.7 pro obdélníkové průřezy

		$\sigma_{t,0,d}$ [MPa]	$\sigma_{m,y,d}$ [MPa]	$\sigma_{m,z,d}$ [MPa]
kombinace pro $N_{Ed,max}$ (tah)				
N_{Ed} [kN]	2.733	0.20	-	-
$M_{y,Ed}$ [kNm]	0.02	-	0.05	-
$M_{z,Ed}$ [kNm]	0.11	-	-	0.40

K1
0.031
obě hodnoty < 1 ... vyhovuje

K2
0.036

3.62%

Kombinace ohybu a vzpěru

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{kombinace 1 (K1)}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{kombinace 2 (K2)}$$

součinitel k_m

0.7 pro obdélníkové průřezy

		$\sigma_{c,0,d}$ [MPa]	$\sigma_{m,y,d}$ [MPa]	$\sigma_{m,z,d}$ [MPa]
a) kombinace pro $N_{Ed,max}$ (tlak)				
N_{Ed} [kN]	21.241	1.33	-	-
$M_{y,Ed}$ [kNm]	0.262	-	0.61	-
$M_{z,Ed}$ [kNm]	0.27	-	-	1.00

b) kombinace pro $M_{y,Ed,max}$

N_{Ed} [kN]	14	0.84	-	-
$M_{y,Ed}$ [kNm]	6.31	-	14.78	-
$M_{z,Ed}$ [kNm]	0.41	-	-	1.55

c) kombinace pro $M_{z,Ed,max}$

N_{Ed} [kN]	7.02	0.44	-	-
$M_{y,Ed}$ [kNm]	4.37	-	10.24	-
$M_{z,Ed}$ [kNm]	1.78	-	-	6.69

K1
a 0.173
b 0.901
c 0.819

K2
0.179
0.692
0.763

všechny hodnoty < 1 ... vyhovuje

90.07%

Smyk

$$f_{v,d} = 2.52 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} * \frac{V_{Ed}}{A_v}$$

maximální smyková síla

$$V_{Ed} = 14.451 \text{ kN}$$

$$A_v = A = 16000 \text{ mm}^2$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} * \frac{V_{Ed}}{A_v} = \frac{3}{2} * \frac{14\,451}{16\,000} = 1.35 \text{ MPa}$$

$$\tau_d < f_{v,d} \quad 1.35 < 2.52 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje} \quad 53.76\%$$

Kroucení

$$\tau_{tor,d} \leq k_{shape} * f_{v,d}$$

$$\tau_{tor,d} \quad \text{návrhové napětí ve smyku od kroucení}$$

$$k_{shape} \quad \text{součinitel závislý na tvaru průřezu}$$

součinitel k_{shape}

$$h/b = 160 / 100 = 1.60$$

$$k_{shape} = \min (1 + 0.15 * h/b; 2) = \min (1 + 0.15 * 1.60; 2) = 1.24$$

napětí $\tau_{tor,d}$

$$k_{tor} = 0.246 \text{ (} h/b \text{ je menší než 2, toto zjednoduší. je na straně bezpečné)}$$

Tab. Součinitel k_{tor}

h/b	1	1,2	1,5	2	3	5	10	>10
k_{tor}	0,208	0,219	0,231	0,246	0,267	0,291	0,313	0,333

zdroj:

http://www.prolignum.cz/fileadmin/prolignum/media.cz/7_Dimenzovani_prvku_drevenych_konstrukci_Petr_Kuklik.pdf

$$M_{tor,d} = M_{T,max} = 0.84 \text{ kNm}$$

$$\tau_{tor,d} = \frac{M_{tor,d}}{k_{tor} * h * b^2} = \frac{0.84 * 10^6}{0.246 * 160 * 100^2} = 2.14 \text{ MPa}$$

$$k_{shape} * f_{v,d} = 1.24 * 2.52 = 3.12 \text{ MPa}$$

posouzení na pevnost v kroucení

$$\tau_{\text{tor,d}} \leq k_{\text{shape}} * f_{v,d} \quad 2.14 < 3.12 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje} \quad 68.38\%$$

3.10.4 Mezní stav použitelnosti

Podle ČSN EN 1995-1-1 (7.2 - Mezní hodnoty průhybů nosníků, 2.2.3 - Mezní stavy použitelnosti)

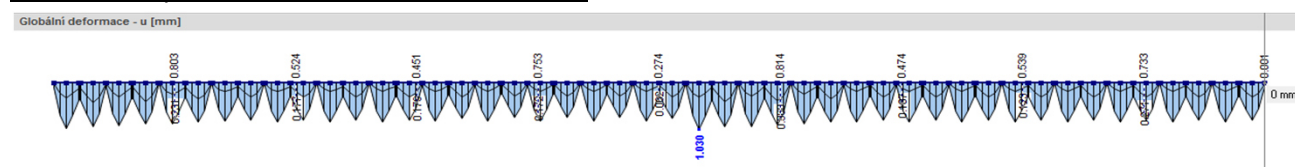
limitní hodnoty průhybu

L	3000 mm	
L/300	10.0 mm	pro okamžitý průhyb u_{inst}
L/250	12.0 mm	pro konečný průhyb u_{fin}

poznámka: protože prvek je bez nadvýšení, pro jednoduchost píší místo $u_{\text{net,fin}} - u_{\text{fin}}$.

1. Okamžitý průhyb

kombinace výsledků charakteristické kombinace



posouzení

$$u_{\text{inst}} < L/300 \quad 1.030 < 10.0 \text{ mm} \quad \text{vyhovuje}$$

2. Konečný průhyb

$$u_{\text{fin}} = u_{\text{fin,G}} + u_{\text{fin,Q1}} + u_{\text{fin,Qi}}$$

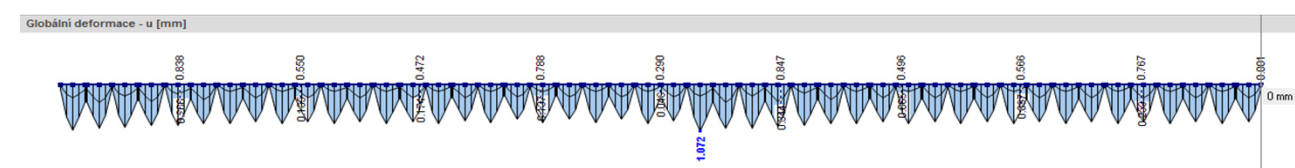
$$u_{\text{fin,G}} = u_{\text{inst,G}} * (1 + k_{\text{def}}) \quad \text{stálé zatížení}$$

$$u_{\text{fin,Q1}} = u_{\text{inst,Q1}} * (1 + \psi_{2,1} * k_{\text{def}})$$

$$u_{\text{fin,Qi}} = u_{\text{inst,Qi}} * (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} * k_{\text{def}})$$

$$k_{\text{def}} \quad 0.8$$

kombinace výsledků kvazistálé kombinace



posouzení

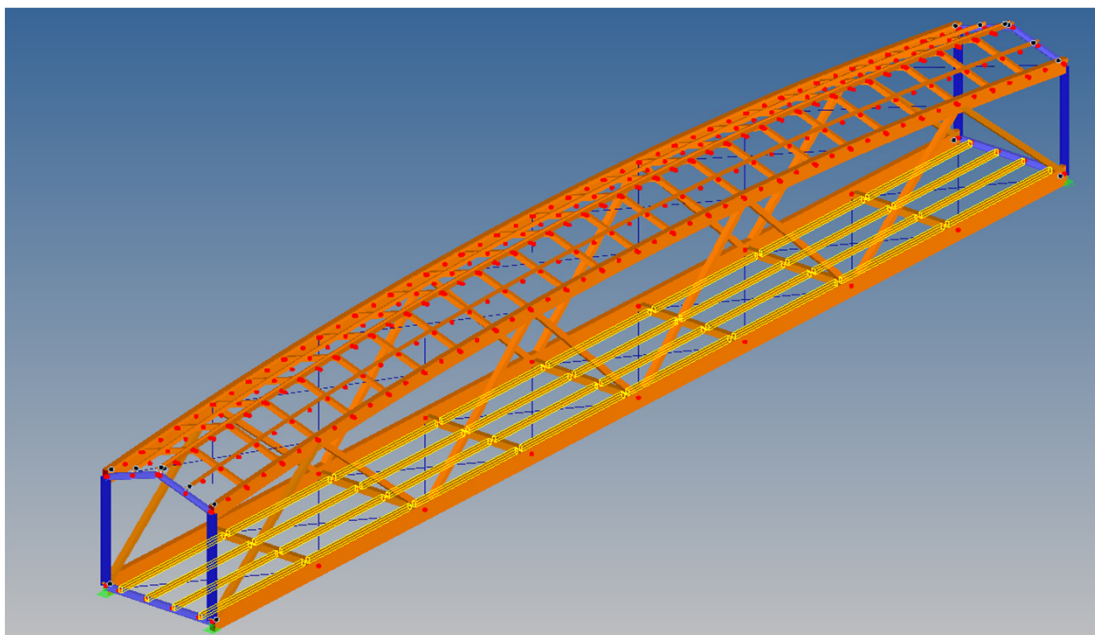
$$u_{\text{fin}} < L/250 \quad 1.072 < 12.0 \text{ mm} \quad \text{vyhovuje}$$

3.11 Podélník (32ks)

Je proveden z konstrukčního dřeva třídy C24 a není po délce lávky spojitý, ale je kloboučově uložen na příčnicích.

3.11.1 Poloha v konstrukci, zatížení, výpočet a vnitřní síly

Poloha podélníků v prostorové příhradové konstrukci



Zatěžovací stavy, kombinace zatížení a výpočet

Zatěžovací stavy

Platí pro celou příhradovou konstrukci stejné.

Kombinace zatížení

Pro mezní stav únosnosti se uvažuje kombinace 6.10a a 6.10b.

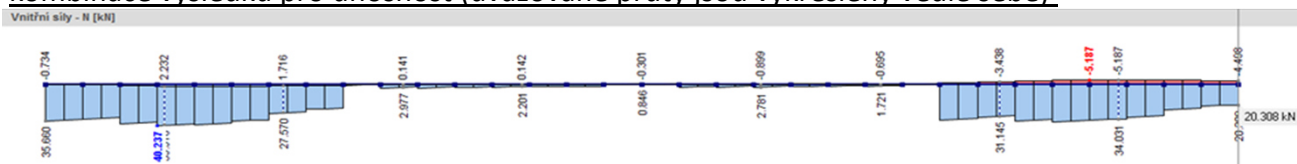
U mezního stavu použitelnosti se pro okamžitý průhyb používá charakteristická kombinace a pro konečný průhyb kvazistálá kombinace s příslušným součinitelem k_{def} .

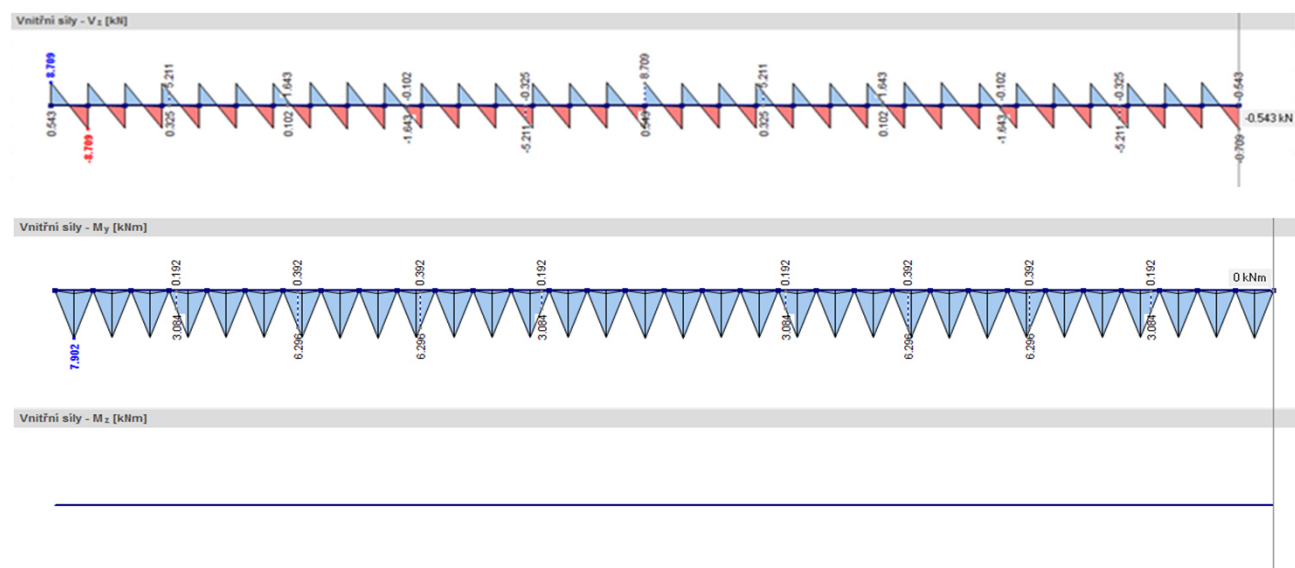
Výpočet

Analýza konstrukce je provedena ve studentské verzi programu RFEM 5.01 od společnosti Dlubal Software s.r.o. Metoda analýzy je podle I.řádu (geometricky lineární výpočet). Jsou vypočteny přetvoření a účinky zatížení pro jednotlivé zatěžovací stavy a kombinace. Kombinace zatížení jsou dále uvažovány pro kombinaci výsledků zahrnující maximální a minimální hodnoty ze všech kombinací zatížení. Ta je přehledně vykreslena po délce konstrukce.

Výsledky výpočtu

kombinace výsledků pro únosnost (uvažované pruty jsou vykresleny vedle sebe)





odpovídající vnitřní síly maximálním hodnotám

Místo x [m]		N	Síly [kN] Vy	Vz	M _T	Momenty [kNm] My	Mz	
0.000	Min N	-5.187	0.000	0.538	0.000	0.000	0.000	KZ 154
0.000	Max N	40.237	0.000	8.638	0.000	0.000	0.000	KZ 440
1.815	Max My	12.822	0.000	0.000	0.000	7.902	0.000	KZ 386

STR KZ154	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS14$
STR KZ386	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS17$
STR KZ440	$1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS3 + 0.9 \cdot ZS11 + 1.5 \cdot ZS17$

tabulka návrhových vnitřních síl

		tlak N _{Ed, odp}	tah N _{Ed, odp}	ohyb y M _{Ed, odp}	ohyb z M _{Ed, odp}	
N _{max}	5.19 kN (tlak)	-	-	0.00	0.00	KZ 154
N _{max}	40.24 kN (tah)	-	-	0.00	0.00	KZ 440
V _{y, max}	0.00 kN					
V _{z, max}	8.71 kN					
M _{T, max}	0.00 kNm					
M _{y, max}	7.90 kNm	0.00	12.82	-	0.00	KZ 386
M _{z, max}	0.00 kNm	0.00	0	0.00	-	

3.11.2 Výpočet návrhových hodnot pevností a průřezových charakteristik

Pevnostní a tuhostní vlastnosti materiálu v charakteristických hodnotách

Třída pevnosti		C24
Pevnostní vlastnosti [MPa]		
Ohyb	$f_{m,k}$	24
Tah II s vlákny	$f_{t,0,k}$	14
Tah \perp k vláknům	$f_{t,90,k}$	0.5
Tlak II s vlákny	$f_{c,0,k}$	21
Tlak \perp k vláknům	$f_{c,90,k}$	2.5
Smyk	$f_{v,k}$	2.5
Tuhostní vlastnosti [GPa]		
Průměrná hodnota modulu pružnosti II s vlákny	$E_{0,mean}$	11
5% kvantil modulu pružnosti II s vlákny	$E_{0.05}$	7.4
Průměrná hodnota modulu pružnosti \perp k vláknům	$E_{90,mean}$	0.37
Průměrná hodnota modulu pružnosti ve smyku	G_{mean}	0.69
Hustota [kg/m³]		
Hustota	ρ_k	350
Průměrná hodnota hustoty	ρ_{mean}	420

Zatížení a vlivy prostředí

Třída trvání zatížení

zatížení	třída trvání zatížení
vlastní tíha	stálé
ostatní stálé	stálé
sníh	krátkodobé
vítr	krátkodobé
dav lidí	krátkodobé

Třída provozu

Podélníky mohou být vystaveny zvýšené vlhkosti v zimním období, kdy na ně může stékat voda z roztátého sněhu, který se dostal na pochozí vrstvu.

Podobně je problematický déšť a navíc jsou blízko hladiny vody.

Třída provozu je 3.

Součinitele potřebné pro návrhové hodnoty pevností a tuhostí

Modifikační součinitele pevnosti pro třídy provozu a třídy trvání zatížení

a) modifikační součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti

k_{mod} 0.7 (rostlé dřevo, třída provozu 3, krátkodobé zatížení)

b) součinitel zvětšující únosnost v ohybu $f_{m,k}$

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{150}{h} \right)^{0.2}, 1.3 \right\} \quad \text{vzorec pro rostlé dřevo}$$

$h = 200 \text{ mm}$

$$k_{h,y} = \min \left\{ \left(\frac{150}{h} \right)^{0.2}, 1.3 \right\} = \min \left\{ \left(\frac{150}{200} \right)^{0.2}, 1.3 \right\} = 1.00 \quad (\text{ohyb kolem osy } y)$$

méně než 1 se neuvažuje

$b = 120 \text{ mm}$

$$k_{h,z} = \min \left\{ \left(\frac{150}{b} \right)^{0.2}, 1.3 \right\} = \min \left\{ \left(\frac{150}{120} \right)^{0.2}, 1.3 \right\} = 1.05 \quad (\text{ohyb kolem osy } z)$$

c) součinitel zvětšující únosnost v tahu II s vlákny $f_{t,0,k}$

$h = 200 \text{ mm}$

h ... maximální rozměr průřezu

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{150}{h} \right)^{0.2}, 1.3 \right\} = \min \left\{ \left(\frac{150}{200} \right)^{0.2}, 1.3 \right\} = 1.00$$

Modifikační součinitel deformace pro třídy provozu - součinitel deformace

k_{def} 2 (rostlé dřevo, třída provozu 3)

Výpočet návrhových pevnostních a tuhostních vlastností materiálu

navrhové hodnoty pevnostních vlastností materiálu

$$X_d = k_{\text{mod}} \frac{X_k}{\gamma_M}$$

dílčí součinitel vlastnosti materiálu

γ_M 1.3 pro rostlé dřevo

$$f_{m,y,d} = k_{\text{mod}} * k_{h,y} * f_{m,k} / \gamma_M = 0.7 * 1.00 * 24 / 1.3 = 12.92 \text{ MPa}$$

$$f_{m,z,d} = k_{\text{mod}} * k_{h,z} * f_{m,k} / \gamma_M = 0.7 * 1.05 * 24 / 1.3 = 13.51 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{\text{mod}} * k_h * f_{t,0,k} / \gamma_M = 0.7 * 1.00 * 14 / 1.3 = 7.54 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,d} = k_{\text{mod}} * f_{t,90,k} / \gamma_M = 0.7 * 0.5 / 1.3 = 0.27 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{\text{mod}} * f_{c,0,k} / \gamma_M = 0.7 * 21 / 1.3 = 11.31 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,d} = k_{\text{mod}} * f_{c,90,k} / \gamma_M = 0.7 * 2.5 / 1.3 = 1.35 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} * f_{v,k} / \gamma_M = 0.7 * 2.5 / 1.3 = 1.35 \text{ MPa}$$

návrhové hodnoty tuhostních vlastností materiálu

$$E_d = \frac{E_{\text{mean}}}{\gamma_M}$$

$$G_d = \frac{G_{\text{mean}}}{\gamma_M}$$

$$E_{0,d} = E_{0,\text{mean}} / \gamma_M = 11 / 1.3 = 8.46 \text{ GPa}$$

$$E_{90,d} = E_{90,\text{mean}} / \gamma_M = 0.37 / 1.3 = 0.28 \text{ GPa}$$

$$G_d = G_{\text{mean}} / \gamma_M = 0.69 / 1.3 = 0.53 \text{ GPa}$$

Průřezové charakteristiky

$$h = 200 \text{ mm}$$

$$b = 120 \text{ mm}$$

$$A = h * b = 200 * 120 = 24\,000 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{net}} = 19\,200 \text{ mm}^2$$

$$W_y = \frac{1}{6} b h^2 = \frac{1}{6} * 120 * 200^2 = 8.00 \text{E}+05 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6} h b^2 = \frac{1}{6} * 200 * 120^2 = 4.80 \text{E}+05 \text{ mm}^3$$

$$I_y = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} * 120 * 200^3 = 8.00 \text{E}+07 \text{ mm}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} h b^3 = \frac{1}{12} * 200 * 120^3 = 2.88 \text{E}+07 \text{ mm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{8.00 \text{E}+07}{24\,000}} = 57.74 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{2.88 \text{E}+07}{24\,000}} = 34.64 \text{ mm}$$

výška průřezu

šířka průřezu

plocha průřezu

oslabená plocha

průřezový modul

moment setrvačnosti

poloměr setrvačnosti

3.11.3 Mezní stav únosnosti

Podle ČSN EN 1995-1-1.

Tah rovnoběžně s vlákny

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

$f_{t,0,d}$ návrhová pevnost v tahu podél vláken

$\sigma_{t,0,d}$ návrhové napětí v tahu podél vláken

a) maximální tah

$$N_{Ed} = 40.237 \text{ kN}$$

$$\sigma_{t,0,d} = N_{Ed} / A_{net} = 40\,237 / 19\,200 = 2.10 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t,0,d} < f_{t,0,d} \quad 2.10 < 7.54 \quad \text{vyhovuje} \quad 27.80\%$$

Vzpěrná únosnost

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} \leq 1 \quad \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \leq 1$$

$f_{c,0,d}$ návrhová pevnost v tlaku podél vláken

$\sigma_{c,0,d}$ návrhové napětí v tlaku podél vláken

vzpěrné délky

$L_{cr,y}$	3750 mm	osová vzdálenost příčníků
$L_{cr,z}$	50 mm	odhadovaná vzdálenost spojovacích prostředků

při vzpěru \perp k ose z brání vybočení pochozí vrstva mostovky

štíhlost prutu λ

$$\lambda_y = L_{cr,y} / i_y = 3\,750 / 57.74 = 64.95$$

$$\lambda_z = L_{cr,z} / i_z = 50 / 34.64 = 1.44$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0.05}}} = \frac{64.95}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7\,400}} = 1.10 > 0.3 \dots \text{vyhovuje}$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0.05}}} = \frac{1.44}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7\,400}} = 0.02 < 0.3 \dots \text{nevyhovuje, } k_{c,z} = 1.00$$

$$\beta_c = 0.2 \text{ pro rostlé dřevo}$$

$$k_y = 0.5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2) = 0.5 * (1 + 0.2 * (1.10 - 0.3) + 1.10^2) = 1.19$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1.19 + \sqrt{1.19^2 - 1.10^2}} = 0.61$$

$$k_{c,z} = 1.00$$

a) maximální tlak

$$N_{Ed} = 5.187 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed} / A = 5.187 / 24.000 = 0.22 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} = \frac{0.22}{0.61 * 11.31} = 0.03 < 1$$

vyhovuje 3.11%

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} = \frac{0.22}{1.00 * 11.31} = 0.02 < 1$$

vyhovuje 1.91%

Příčná a torzní stabilita

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} * f_{m,d}$$

$\sigma_{m,d}$ návrhové napětí v ohybu

pro návrhové momenty $M_{y,Ed}$

$$l_{ef} = 0.9 * L_{cr,z} + 2 * h = 0.9 * 50 + 2 * 200 = 445 \text{ mm}$$

zvětšení kvůli přímému zatížení od pochozí vrstvy mostovky

l_{ef} účinná délka

kritické napětí v ohybu $\sigma_{m,crit}$

vypočtené podle klasické teorie stability s hodnotami 5% kvantilu tuhosti

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0.78 * b^2}{h * l_{ef}} * E_{0.05} = \frac{0.78 * 120^2}{200 * 445} * 7.400 = 933.9 \text{ MPa}$$

poměrná štíhlost v ohybu $\lambda_{rel,m}$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24 * 1.10}{933.9}} = 0.160$$

součinitel k_{crit}

$k_{crit} = 1$ pro $\lambda_{rel,m} < 0.75$

výběr na základě lambda

maximální ohybový moment kolem osy y

$$M_{Ed} = 7.902 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = M_{Ed} / W_y = 7.902 * 10^6 / 8 * 10^5 = 9.88 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} * f_{m,d}$$

$$9.88 <$$

$$12.92$$

vyhovuje

76.43%

Kombinace ohybu a osového tahu

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{kombinace 1 (K1)}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{kombinace 2 (K2)}$$

součinitel k_m

0.7 pro obdélníkové průřezy

	$\sigma_{t,0,d}$ [MPa]	$\sigma_{m,y,d}$ [MPa]	$\sigma_{m,z,d}$ [MPa]	
kombinace pro $M_{y,Ed,max}$				
N_{Ed} [kN]	12.82	0.67	-	
$M_{y,Ed}$ [kNm]	7.90	-	9.88	
$M_{z,Ed}$ [kNm]	0.00	-	-	0.00
	K1	K2		
	0.853	0.624		85.29%

obě hodnoty < 1 ... vyhovuje

Smyk

$$f_{v,d} \quad 1.35 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} * \frac{V_{Ed}}{A_v}$$

maximální smyková síla

$$V_{Ed} \quad 8.709 \text{ kN}$$

$$A_v = 0.67 * A \quad 16080 \text{ mm}^2 \quad \text{redukce součinitelem trhlin u rostlého dřeva}$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} * \frac{V_{Ed}}{A_v} = \frac{3}{2} * \frac{8.709}{16.080} = 0.81 \text{ MPa}$$

$$\tau_d < f_{v,d} \quad 0.81 < 1.35 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje} \quad 60.35\%$$

3.11.4 Mezní stav použitelnosti

Podle ČSN EN 1995-1-1 (7.2 - Mezní hodnoty průhybů nosníků, 2.2.3 - Mezní stavy použitelnosti)

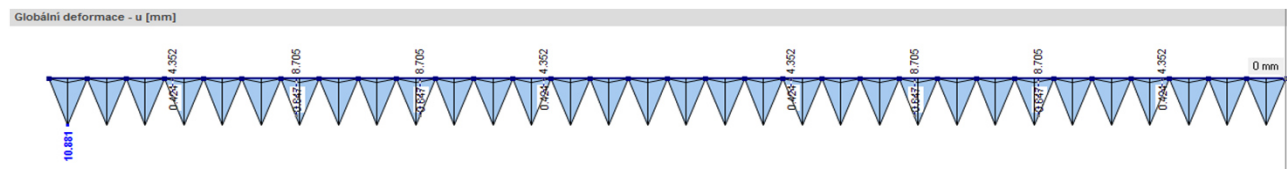
limitní hodnoty průhybu

L	3750 mm	
L/300	12.5 mm	pro okamžitý průhyb u_{inst}
L/250	15.0 mm	pro konečný průhyb u_{fin}

poznámka: protože prvek je bez nadvýšení, pro jednoduchost píš místo $u_{net,fin}$ - u_{fin} .

1. Okamžitý průhyb

kombinace výsledků charakteristické kombinace



posouzení

$u_{inst} < L/300$ 10.881 < 12.5 mm vyhovuje

2. Konečný průhyb

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q1} + u_{fin,Qi}$$

$$u_{fin,G} = u_{inst,G} * (1 + k_{def}) \quad \text{stálé zatížení}$$

$$u_{fin,Q,1} = u_{inst,Q,1} * (1 + \psi_{2,1} * k_{def})$$

$$u_{fin,Q,i} = u_{inst,Q,i} * (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} * k_{def})$$

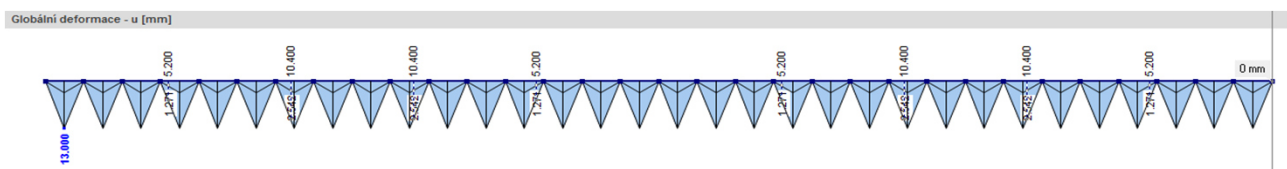
$$k_{def} \quad 2$$

Kvazistálá kombinace zatížení v programu RFEM v sobě výše uvedené vztahy zahrnuje.

MSP - kvazistálá

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} (1 + k_{def}) + P + Q_{k,1} (1 + \psi_{2,1} k_{def}) + \sum_{i > 1} Q_{k,i} (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} k_{def})$$

kombinace výsledků kvazistálé kombinace



posouzení

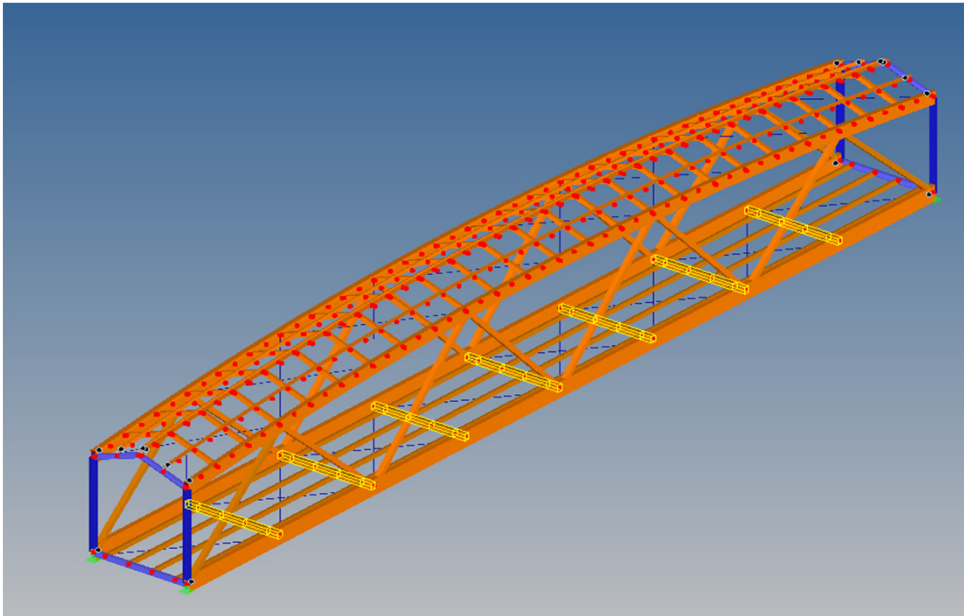
$u_{fin} < L/250$ 13.000 < 15.0 mm vyhovuje

3.12 Příčník (7ks)

Je proveden z konstrukčního dřeva třídy C24.

3.12.1 Poloha v konstrukci, zatížení, výpočet a vnitřní síly

Poloha příčníků v prostorové příhradové konstrukci



Zatěžovací stavy, kombinace zatížení a výpočet

Zatěžovací stavy

Platí pro celou příhradovou konstrukci stejné.

Kombinace zatížení

Pro mezní stav únosnosti se uvažuje kombinace 6.10a a 6.10b.

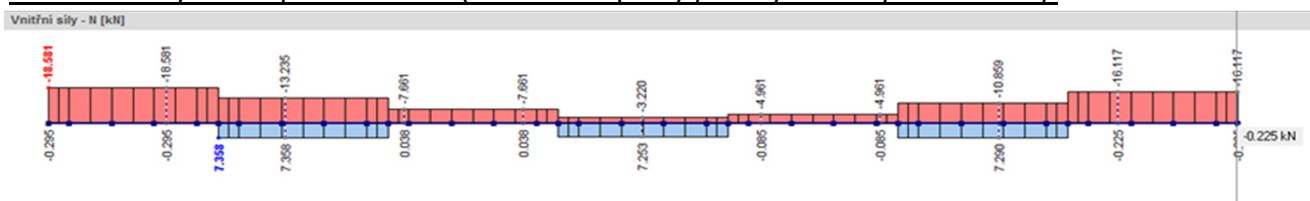
U mezního stavu použitelnosti se pro okamžitý průhyb používá charakteristická kombinace a pro konečný průhyb kvazistálá kombinace s příslušným součinitelem k_{def} .

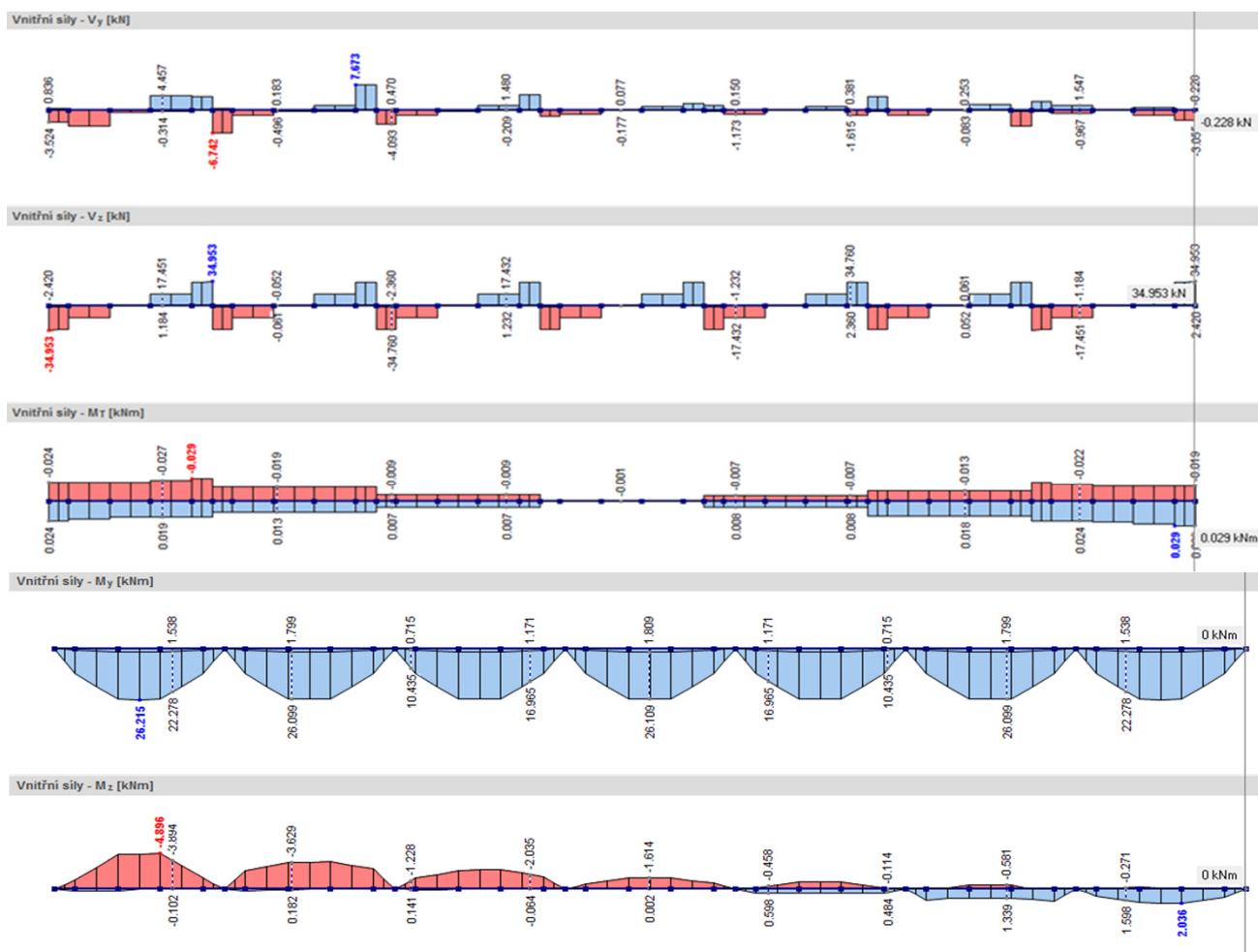
Výpočet

Analýza konstrukce je provedena ve studentské verzi programu RFEM 5.01 od společnosti Dlubal Software s.r.o. Metoda analýzy je podle I.řádu (geometricky lineární výpočet). Jsou vypočteny přetvoření a účinky zatížení pro jednotlivé zatěžovací stavy a kombinace. Kombinace zatížení jsou dále uvažovány pro kombinaci výsledků zahrnující maximální a minimální hodnoty ze všech kombinací zatížení. Ta je přehledně vykreslena po délce konstrukce.

Výsledky výpočtu

kombinace výsledků pro únosnost (uvažované pruty jsou vykresleny vedle sebe)





odpovídající vnitřní síly maximálním hodnotám

Místo x [m]		N	Síly [kN] V_y	V_z	M_T	Momenty [kNm] M_y	M_z	
0.000	Min N	-18.581	-0.594	0.065	-0.023	11.563	-2.261	KZ 252
Místo x [m]		N	Síly [kN] V_y	V_z	M_T	Momenty [kNm] M_y	M_z	
0.000	Max N	7.358	0.000	0.065	0.000	26.097	-2.856	KZ 397
Místo x [m]		N	Síly [kN] V_y	V_z	M_T	Momenty [kNm] M_y	M_z	
0.375	Max M_y	-3.010	0.000	0.000	0.000	26.215	-3.911	KZ 386
Místo x [m]		N	Síly [kN] V_y	V_z	M_T	Momenty [kNm] M_y	M_z	
0.750	Min M_z	-11.016	4.457	17.412	-0.008	26.203	-4.896	KZ 440

STR KZ252 | $1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS4 + 1.5 \cdot ZS16 + 0.6 \cdot ZS17$

STR KZ386 | $1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS17$

STR KZ397 | $1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.9 \cdot ZS10 + 1.5 \cdot ZS18$

STR KZ440 | $1.15 \cdot ZS1 + 1.15 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS3 + 0.9 \cdot ZS11 + 1.5 \cdot ZS17$

tabulka návrhových vnitřních síl

		tlak $N_{Ed, odp}$	tah $N_{Ed, odp}$	ohyb y $M_{Ed, odp}$	ohyb z $M_{Ed, odp}$	
N_{max}	18.58 kN (tlak)	-	-	11.56	2.26	KZ 252
N_{max}	7.36 kN (tah)	-	-	26.10	2.86	KZ 397
$V_{y, max}$	7.67 kN					
$V_{z, max}$	34.95 kN					
$M_{T, max}$	0.03 kNm					
$M_{y, max}$	26.22 kNm	3.01	0	-	3.91	KZ 386
$M_{z, max}$	4.90 kNm	11.02	0	26.20	-	KZ 440

3.12.2 Výpočet návrhových hodnot pevností a průřezových charakteristik

Pevnostní a tuhostní vlastnosti materiálu v charakteristických hodnotách

Třída pevnosti		C24
Pevnostní vlastnosti [MPa]		
Ohyb	$f_{m, k}$	24
Tah II s vlákny	$f_{t, 0, k}$	14
Tah \perp k vláknům	$f_{t, 90, k}$	0.5
Tlak II s vlákny	$f_{c, 0, k}$	21
Tlak \perp k vláknům	$f_{c, 90, k}$	2.5
Smyk	$f_{v, k}$	2.5
Tuhostní vlastnosti [GPa]		
Průměrná hodnota modulu pružnosti II s vlákny	$E_{0, mean}$	11
5% kvantil modulu pružnosti II s vlákny	$E_{0.05}$	7.4
Průměrná hodnota modulu pružnosti \perp k vláknům	$E_{90, mean}$	0.37
Průměrná hodnota modulu pružnosti ve smyku	G_{mean}	0.69
Hustota [kg/m³]		
Hustota	ρ_k	350
Průměrná hodnota hustoty	ρ_{mean}	420

Zatížení a vlivy prostředí

Třída trvání zatížení

zatížení	třída trvání zatížení
vlastní tíha	stálé
ostatní stálé	stálé
sníh	krátkodobé
vítr	krátkodobé
dav lidí	krátkodobé

Třída provozu

Příčníky mohou být vystaveny zvýšené vlhkosti v zimním období, kdy na ně může stékat voda z roztátého sněhu, který se dostal na pochozí vrstvu.

Podobně je problematický déšť a navíc jsou blízko hladiny vody.

Třída provozu je 3.

Součinitele potřebné pro návrhové hodnoty pevností a tuhostí

Modifikační součinitele pevnosti pro třídy provozu a třídy trvání zatížení

a) modifikační součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti

k_{mod} 0.7 (rostlé dřevo, třída provozu 3, krátkodobé zatížení)

b) součinitel zvětšující únosnost v ohybu $f_{m,k}$

$$k_h = \min \left\{ \frac{\left(\frac{150}{h}\right)^{0.2}}{1.3} \right\} \quad \text{vzorec pro rostlé dřevo}$$

$$h = 280 \text{ mm}$$

$$k_{h,y} = \min \left\{ \frac{\left(\frac{150}{h}\right)^{0.2}}{1.3} \right\} = \min \left\{ \frac{\left(\frac{150}{280}\right)^{0.2}}{1.3} \right\} = 1.00 \quad (\text{ohyb kolem osy } y)$$

méně než 1 se neuvažuje

$$b = 200 \text{ mm}$$

$$k_{h,z} = \min \left\{ \frac{\left(\frac{150}{b}\right)^{0.2}}{1.3} \right\} = \min \left\{ \frac{\left(\frac{150}{200}\right)^{0.2}}{1.3} \right\} = 1.00 \quad (\text{ohyb kolem osy } z)$$

méně než 1 se neuvažuje

c) součinitel zvětšující únosnost v tahu II s vlákny $f_{t,0,k}$

$$h = 280 \text{ mm}$$

h ... maximální rozměr průřezu

$$k_h = \min \left\{ \frac{\left(\frac{150}{h}\right)^{0.2}}{1.3} = \min \left\{ \frac{\left(\frac{150}{280}\right)^{0.2}}{1.3} = 1.00 \right.$$

méně než 1 se neuvažuje

Modifikační součinitel deformace pro třídy provozu - součinitel deformace

k_{def}

2 (rostlé dřevo, třída provozu 3)

Výpočet návrhových pevnostních a tuhostních vlastností materiálu

návrhové hodnoty pevnostních vlastností materiálu

$$X_d = k_{mod} \frac{X_k}{\gamma_M}$$

díličí součinitel vlastnosti materiálu

γ_M

1.3 pro rostlé dřevo

$$f_{m,y,d} = k_{mod} * k_{h,y} * f_{m,k} / \gamma_M = 0.7 * 1.00 * 24 / 1.3 = 12.92 \text{ MPa}$$

$$f_{m,z,d} = k_{mod} * k_{h,z} * f_{m,k} / \gamma_M = 0.7 * 1.00 * 24 / 1.3 = 12.92 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} * k_h * f_{t,0,k} / \gamma_M = 0.7 * 1.00 * 14 / 1.3 = 7.54 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,d} = k_{mod} * f_{t,90,k} / \gamma_M = 0.7 * 0.5 / 1.3 = 0.27 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} * f_{c,0,k} / \gamma_M = 0.7 * 21 / 1.3 = 11.31 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,d} = k_{mod} * f_{c,90,k} / \gamma_M = 0.7 * 2.5 / 1.3 = 1.35 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} * f_{v,k} / \gamma_M = 0.7 * 2.5 / 1.3 = 1.35 \text{ MPa}$$

návrhové hodnoty tuhostních vlastností materiálu

$$E_d = \frac{E_{mean}}{\gamma_M}$$

$$G_d = \frac{G_{mean}}{\gamma_M}$$

$$E_{0,d} = E_{0,mean} / \gamma_M = 11 / 1.3 = 8.46 \text{ GPa}$$

$$E_{90,d} = E_{90,mean} / \gamma_M = 0.37 / 1.3 = 0.28 \text{ GPa}$$

$$G_d = G_{mean} / \gamma_M = 0.69 / 1.3 = 0.53 \text{ GPa}$$

Průřezové charakteristiky

$$h = 280 \text{ mm}$$

výška průřezu

$$b = 200 \text{ mm}$$

šířka průřezu

$$A = h \cdot b = 280 \cdot 200 = 56\,000 \text{ mm}^2$$

plocha průřezu

$$A_{\text{net}} = 48\,750 \text{ mm}^2$$

oslabená plocha

$$W_y = \frac{1}{6} b h^2 = \frac{1}{6} \cdot 200 \cdot 280^2 = 2.61 \text{E}+06 \text{ mm}^3$$

průřezový modul

$$W_z = \frac{1}{6} h b^2 = \frac{1}{6} \cdot 280 \cdot 200^2 = 1.87 \text{E}+06 \text{ mm}^3$$

$$I_y = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} \cdot 200 \cdot 280^3 = 3.66 \text{E}+08 \text{ mm}^4$$

moment setrvačnosti

$$I_z = \frac{1}{12} h b^3 = \frac{1}{12} \cdot 280 \cdot 200^3 = 1.87 \text{E}+08 \text{ mm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{3.66 \text{E}+08}{56\,000}} = 80.83 \text{ mm}$$

poloměr setrvačnosti

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{1.87 \text{E}+08}{56\,000}} = 57.74 \text{ mm}$$

3.12.3 Mezní stav únosnosti

Podle ČSN EN 1995-1-1.

Tah rovnoběžně s vlákny

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

$f_{t,0,d}$ návrhová pevnost v tahu podél vláken

$\sigma_{t,0,d}$ návrhové napětí v tahu podél vláken

a) maximální tah

$$N_{Ed} = 7.358 \text{ kN}$$

$$\sigma_{t,0,d} = N_{Ed} / A_{\text{net}} = 7\,358 / 48\,750 = 0.15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t,0,d} < f_{t,0,d} \quad 0.15 < 7.54 \quad \text{vyhovuje} \quad 2.00\%$$

Vzpěrná únosnost

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

$f_{c,0,d}$ návrhová pevnost v tlaku podél vláken

$\sigma_{c,0,d}$ návrhové napětí v tlaku podél vláken

vzpěrné délky

$L_{cr,y}$	3000 mm	osová vzdálenost hlavních nosníků
$L_{cr,z}$	850 mm	osová vzdálenost podélníků

štíhlost prutu λ

$$\lambda_y = L_{cr,y} / i_y = 3\,000 / 80.83 = 37.12$$

$$\lambda_z = L_{cr,z} / i_z = 850 / 57.74 = 14.72$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0.05}}} = \frac{37.12}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7\,400}} = 0.63 > 0.3 \dots \text{vyhovuje}$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0.05}}} = \frac{14.72}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7\,400}} = 0.25 < 0.3 \dots \text{nevyhovuje, } k_{c,z} = 1.00$$

$$\beta_c \quad 0.2 \text{ pro rostlé dřevo}$$

$$k_y = 0.5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2) = 0.5 * (1 + 0.2 * (0.63 - 0.3) + 0.63^2) = 0.73$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0.73 + \sqrt{0.73^2 - 0.63^2}} = 0.91$$

$$k_{c,z} = 1.00$$

a) maximální tlak

$$N_{Ed} \quad 18.581 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed} / A = 18\,581 / 56\,000 = 0.33 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} = \frac{0.33}{0.91 * 11.31} = 0.03 < 1 \quad \text{vyhovuje} \quad 3.24\%$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} = \frac{0.33}{1.00 * 11.31} = 0.03 < 1 \quad \text{vyhovuje} \quad 2.93\%$$

Příčná a torzní stabilita v kombinaci se vzpěrem

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} * f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \leq 1$$

$\sigma_{m,d}$	návrhové napětí v ohybu
$\sigma_{c,d}$	návrhové napětí v tlaku
$f_{c,0,d}$	návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny

a) pro návrhové momenty $M_{y,Ed}$

$$l_{ef} = 0.8 * L_{cr,z} = 0.8 * 850 = 680 \text{ mm}$$

l_{ef} účinná délka

kritické napětí v ohybu $\sigma_{m,crit}$

vypočtené podle klasické teorie stability s hodnotami 5% kvantilu tuhosti

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0.78 * b^2}{h * l_{ef}} * E_{0.05} = \frac{0.78 * 200^2}{280 * 680} * 7400 = 1212.6 \text{ MPa}$$

poměrná štíhlost v ohybu $\lambda_{rel,m}$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{1212.6}} = 0.141$$

součinitel k_{crit}

$$k_{crit} = 1 \text{ pro } \lambda_{rel,m} < 0.75$$

výběr na základě lambda

a) maximální ohybový moment kolem osy y a odpovídající tlaková síla

$$M_{Ed} \quad 26.215 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = M_{Ed} / W_y = 26.215 * 10^6 / 2.61 * 10^6 = 10.03 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} \quad 3.01 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed} / A = 3010 / 56000 = 0.05 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} * f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} = \left(\frac{10.03}{1 * 12.92} \right)^2 + \frac{0.05}{1.00 * 11.31} = 0.61 \leq 1$$

vyhovuje

60.73%

b) maximální tlaková síla a odpovídající ohybový moment kolem osy y

$$M_{Ed} \quad 11.563 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = M_{Ed} / W_y = 11.563 * 10^6 / 2.61 * 10^6 = 4.42 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 18.581 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed} / A = 18\,581 / 56\,000 = 0.33 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} * f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} = \left(\frac{4.42}{1 * 12.92} \right)^2 + \frac{0.33}{1.00 * 11.31} = 0.15 \leq 1 \quad \text{vyhovuje} \quad 14.66\%$$

b) pro návrhové momenty $M_{z,Ed}$

$$l_{ef} = 0.8 * L_{cr,y} = 0.8 * 3\,000 = 2\,400 \text{ mm}$$

l_{ef} účinná délka

kritické napětí v ohybu $\sigma_{m,crit}$

vypočtené podle klasické teorie stability s hodnotami 5% kvantilu tuhosti

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0.78 * h^2}{b * l_{ef}} * E_{0.05} = \frac{0.78 * 280^2}{200 * 2\,400} * 7\,400 = 942.8 \text{ MPa}$$

poměrná štíhlost v ohybu $\lambda_{rel,m}$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{942.8}} = 0.160$$

součinitel k_{crit}

$$k_{crit} = 1 \text{ pro } \lambda_{rel,m} < 0.75$$

výběr na základě lambda

a) maximální ohybový moment kolem osy z a odpovídající tlaková síla

$$M_{Ed} = 4.896 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = M_{Ed} / W_z = 4.896 * 10^6 / 1.87 * 10^6 = 2.62 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 11.016 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed} / A = 11\,016 / 56\,000 = 0.20 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} * f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} = \left(\frac{2.62}{1 * 12.92} \right)^2 + \frac{0.20}{0.91 * 11.31} = 0.06 \leq 1 \quad \text{vyhovuje} \quad 6.04\%$$

b) maximální tlaková síla a odpovídající ohybový moment kolem osy z

$$M_{Ed} = 2.261 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = M_{Ed} / W_z = 2.261 * 10^6 / 1.87 * 10^6 = 1.21 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 18.581 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed} / A = 18\,581 / 56\,000 = 0.33 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} * f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} = \left(\frac{1.21}{1 * 12.92} \right)^2 + \frac{0.33}{0.91 * 11.31} = 0.04 \leq 1 \quad \text{vyhovuje} \quad 4.11\%$$

Kombinace ohybu a osového tahu

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{kombinace 1 (K1)}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{kombinace 2 (K2)}$$

součinitel k_m 0.7 pro obdélníkové průřezy

		$\sigma_{t,0,d}$ [MPa]	$\sigma_{m,y,d}$ [MPa]	$\sigma_{m,z,d}$ [MPa]
kombinace pro $N_{Ed,max}$ (tah)				
N_{Ed} [kN]	7.358	0.15	-	-
$M_{y,Ed}$ [kNm]	26.10	-	9.99	-
$M_{z,Ed}$ [kNm]	2.86	-	-	1.53

K1 K2
0.876 0.679
 obě hodnoty < 1 ... vyhovuje 87.56%

Kombinace ohybu a vzpěru

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{kombinace 1 (K1)}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{kombinace 2 (K2)}$$

součinitel k_m 0.7 pro obdélníkové průřezy

		$\sigma_{c,0,d}$ [MPa]	$\sigma_{m,y,d}$ [MPa]	$\sigma_{m,z,d}$ [MPa]
a) kombinace pro $N_{Ed,max}$ (tlak)				
N_{Ed} [kN]	18.581	0.33	-	-
$M_{y,Ed}$ [kNm]	11.563	-	4.42	-
$M_{z,Ed}$ [kNm]	2.26	-	-	1.21

b) kombinace pro $M_{y,Ed,max}$

N_{Ed} [kN]	3	0.05	-	-
$M_{y,Ed}$ [kNm]	26.22	-	10.03	-
$M_{z,Ed}$ [kNm]	3.91	-	-	2.10

c) kombinace pro $M_{z,Ed,max}$

N_{Ed} [kN]	11.02	0.20	-	-
$M_{y,Ed}$ [kNm]	26.20	-	10.03	-
$M_{z,Ed}$ [kNm]	4.90	-	-	2.62

	K1	K2
a	0.440	0.366
b	0.895	0.711
c	0.937	0.765

všechny hodnoty < 1 ... vyhovuje

93.71%

Smyk

$f_{v,d}$ 1.35 MPa

$$\tau_d = \frac{3}{2} * \frac{V_{Ed}}{A_v}$$

maximální smyková síla

V_{Ed} 34.953 kN
 $A_v = A$ 56000 mm²

$$\tau_d = \frac{3}{2} * \frac{V_{Ed}}{A_v} = \frac{3}{2} * \frac{34\,953}{56\,000} = 0.94 \text{ MPa}$$

$\tau_d < f_{v,d}$ **0.94** < **1.35 MPa** vyhovuje 69.55%

3.12.4 Mezní stav použitelnosti

Podle ČSN EN 1995-1-1 (7.2 - Mezní hodnoty průhybů nosníků, 2.2.3 - Mezní stavy použitelnosti)

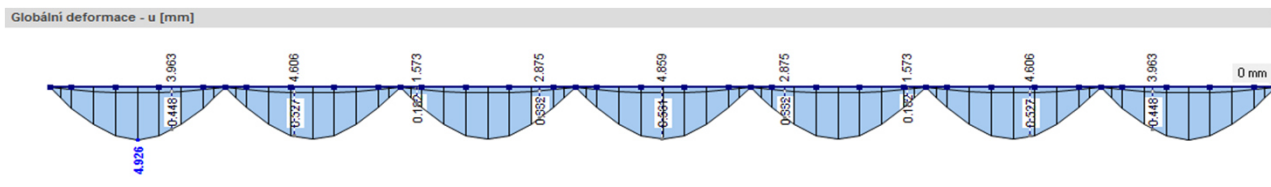
limitní hodnoty průhybu

L	3000 mm	
L/300	10.0 mm	pro okamžitý průhyb u_{inst}
L/250	12.0 mm	pro konečný průhyb u_{fin}

poznámka: protože prvek je bez nadvýšení, pro jednoduchost píší místo $u_{net,fin}$ - u_{fin} .

1. Okamžitý průhyb

kombinace výsledků charakteristické kombinace



posouzení

$$u_{\text{inst}} < L/300 \quad 4.926 < 10.0 \text{ mm} \quad \text{vyhovuje}$$

2. Konečný průhyb

$$u_{\text{fin}} = u_{\text{fin,G}} + u_{\text{fin,Q1}} + u_{\text{fin,Qi}}$$

$$u_{\text{fin,G}} = u_{\text{inst,G}} * (1 + k_{\text{def}}) \quad \text{stálé zatížení}$$

$$u_{\text{fin,Q,1}} = u_{\text{inst,Q,1}} * (1 + \psi_{2,1} * k_{\text{def}})$$

$$u_{\text{fin,Q,i}} = u_{\text{inst,Q,i}} * (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} * k_{\text{def}})$$

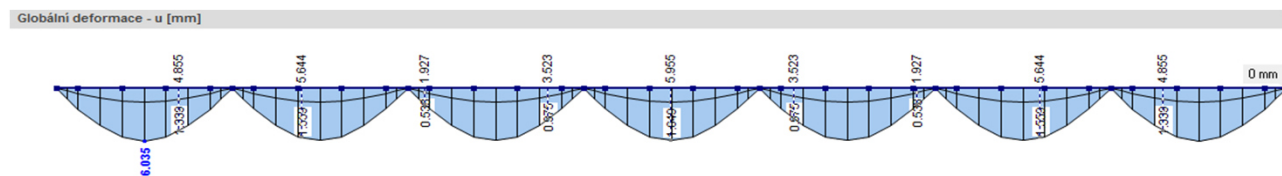
$$k_{\text{def}} \quad 2$$

Kvazistálá kombinace zatížení v programu RFEM v sobě výše uvedené vztahy zahrnuje.

MSP - kvazistálá

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j}(1 + k_{\text{def}}) + P + Q_{k,1}(1 + \psi_{2,1}k_{\text{def}}) + \sum_{i > 1} Q_{k,i}(\psi_{0,i} + \psi_{2,i}k_{\text{def}})$$

kombinace výsledků kvazistálé kombinace



posouzení

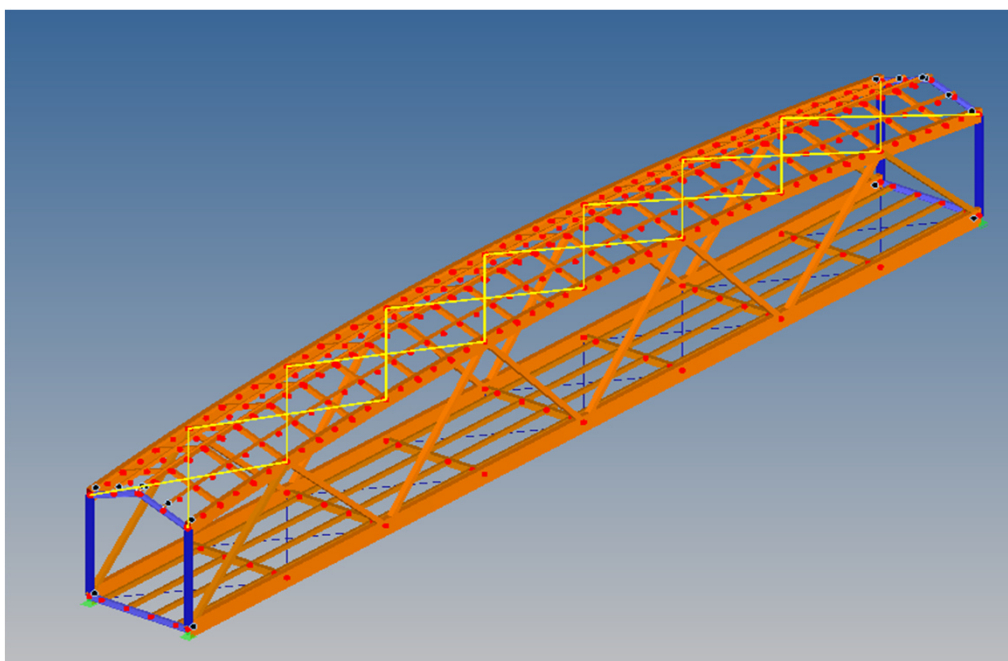
$$u_{\text{fin}} < L/250 \quad 6.035 < 12.0 \text{ mm} \quad \text{vyhovuje}$$

3.13 Táhla

3.13.1 Táhlo v úrovni horního pásu (16ks)

Konstrukční táhlo PROTAH od českého dodavatele FIRESTA-Fišer, rekonstrukce, stavby a.s

Umístění táhel v prostorové příhradové konstrukci



Zatěžovací stavy, kombinace zatížení a výpočet

Zatěžovací stavy

Platí pro celou příhradovou konstrukci stejné.

Kombinace zatížení

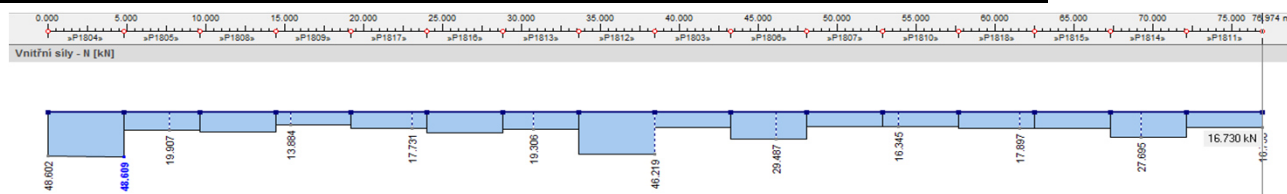
Pro mezní stav únosnosti se uvažuje kombinace 6.10a a 6.10b.

Výpočet

Analýza konstrukce je provedena ve studentské verzi programu RFEM 5.01 od společnosti Dlubal Software s.r.o. Metoda analýzy je podle I.řádu (geometricky lineární výpočet). Jsou vypočteny přetvoření a účinky zatížení pro jednotlivé zatěžovací stavy a kombinace. Kombinace zatížení jsou dále uvažovány pro kombinaci výsledků zahrnující maximální a minimální hodnoty ze všech kombinací zatížení. Ta je přehledně vykreslena po délce konstrukce.

Výsledky výpočtu

kombinace výsledků pro únosnost (uvažované pruty jsou vykresleny vedle sebe)



Místo x [m]		N	Síly [kN]			Momenty [kNm]			
			V _y	V _z	M _T	M _y	M _z		
4.822	Max N	48.609	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	KZ 247

N_{\max} 48.61 kN (tah)

Dimenzování - Mezní stav únosnosti

materiál - ocel S460

mez kluzu f_y 460 MPa

teoretická délka táhla

L 4822 mm

Pro použití spojení vidlice-vidlice musí být délka mezi 430 a 6090 mm.

průměr tyče

\varnothing_T 16 mm Typ táhla P 16

výpočet plochy průřezu

$$A = \pi \cdot d^2 / 4 = \pi \cdot 16^2 / 4 = 201.06 \text{ mm}^2$$

výpočet únosnosti průřezu táhla

$$N_{R,d1} = A \cdot f_y / \gamma_{M0} = 201.06 \cdot 460 / 1.00 = 92\,488 \text{ N}$$

γ_{M0} 1.00

Výrobce udává hodnotu $N_{Rd} = 70.7 \text{ kN}$, pro návrh se uvažuje hodnota od výrobce, protože je menší.

TABULKA 6: NÁVRHOVÉ PARAMETRY TÁHEL PROTÁH

Typ táhla		P 12	P 16	P 20	P 24
\varnothing_T	[mm]	12,0	16,0	20,0	24,0
$N_{Rd,S355}$	[kN]	31,0	57,7	86,4	124,5
$N_{Rd,S460}$	[kN]	36,4	70,7	110,3	158,9
VIDLICE-VIDLICE					
L_{\min}	[mm]	410	430	650	670
L_{\max}	[mm]	6070	6090	6110	6135

zdroj:

<http://www.firesta.cz/download/katalog-protah.pdf>

ověření únosnosti táhla

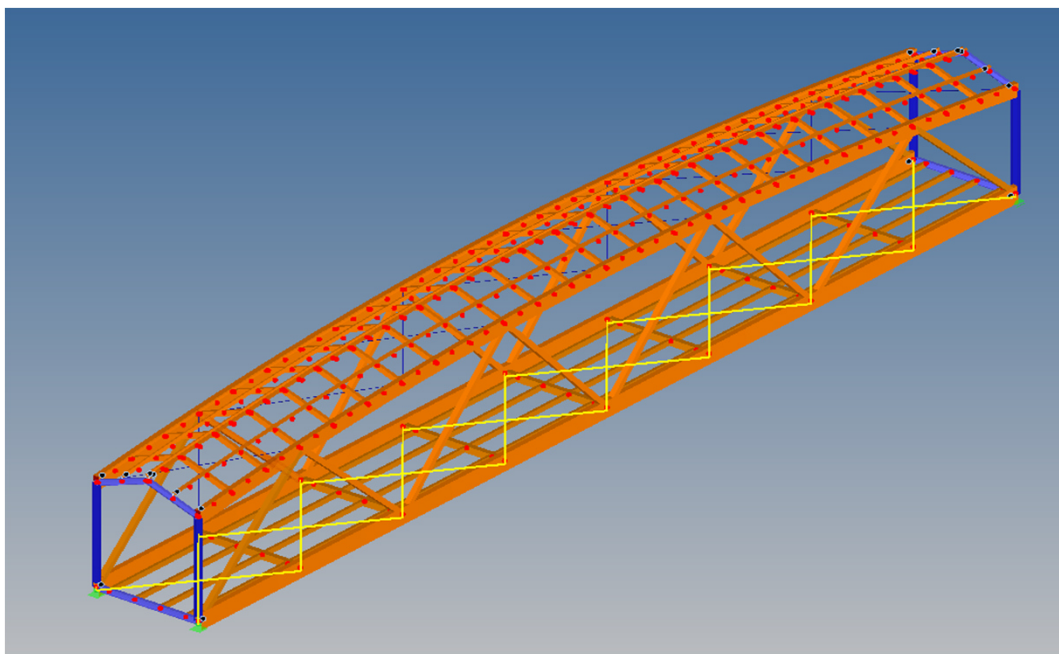
$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

48.61 < 70.70 vyhovuje 68.75%

3.13.2 Táhlo v úrovni spodního pásu (16ks)

Konstrukční táhlo PROTAH od českého dodavatele FIRESTA-Fišer, rekonstrukce, stavby a.s

1. Umístění táhel v prostorové příhradové konstrukci



2. Zatěžovací stavy, kombinace zatížení a výpočet

Zatěžovací stavy

Platí pro celou příhradovou konstrukci stejné.

Kombinace zatížení

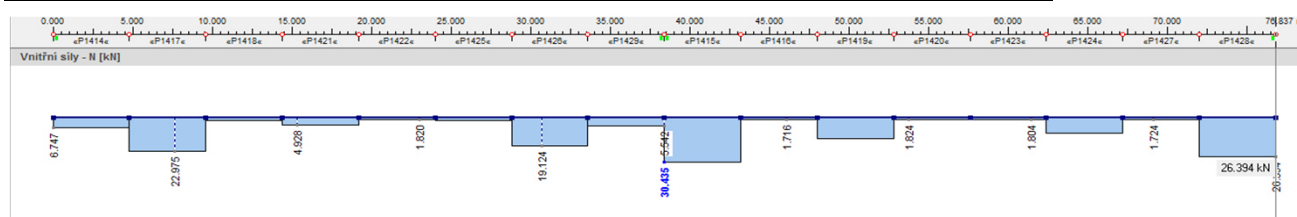
Pro mezní stav únosnosti se uvažuje kombinace 6.10a a 6.10b.

Výpočet

Analýza konstrukce je provedena ve studentské verzi programu RFEM 5.01 od společnosti Dlubal Software s.r.o. Metoda analýzy je podle I.řádu (geometricky lineární výpočet). Jsou vypočteny přetvoření a účinky zatížení pro jednotlivé zatěžovací stavy a kombinace. Kombinace zatížení jsou dále uvažovány pro kombinaci výsledků zahrnující maximální a minimální hodnoty ze všech kombinací zatížení. Ta je přehledně vykreslena po délce konstrukce.

3. Výsledky výpočtu

kombinace výsledků pro únosnost (uvažované pruty jsou vykresleny vedle sebe)



Místo x [m]		N	Síly [kN] V _y	V _z	M _T	Momenty [kNm] M _y	M _z	
0.000	Max N	30.435	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	KZ 252

N_{\max} 30.44 kN (tah)

4. Dimenzování - Mezní stav únosnosti

materiál - ocel S460

mez kluzu f_y 460 MPa

teoretická délka táhla

L 4802 mm

Pro použití spojení vidlice-vidlice musí být délka mezi 410 a 6070 mm.

průměr tyče

\varnothing_T 12 mm Typ táhla P 12

výpočet plochy průřezu

$$A = \pi \cdot d^2 / 4 = \pi \cdot 12^2 / 4 = 113.10 \text{ mm}^2$$

výpočet únosnosti průřezu táhla

$$N_{R,d1} = A \cdot f_y / \gamma_{M0} = 113.10 \cdot 460 / 1.00 = 52\,025 \text{ N}$$

γ_{M0} 1.00

Výrobce udává hodnotu $N_{Rd} = 36.4 \text{ kN}$, pro návrh se uvažuje hodnota od výrobce, protože je menší.

TABULKA 6: NÁVRHOVÉ PARAMETRY TÁHEL PROTÁH

Typ táhla		P 12	P 16	P 20	P 24
\varnothing_T	[mm]	12,0	16,0	20,0	24,0
$N_{Rd,S355}$	[kN]	31,0	57,7	86,4	124,5
$N_{Rd,S460}$	[kN]	36,4	70,7	110,3	158,9
VIDLICE-VIDLICE					
L_{\min}	[mm]	410	430	650	670
L_{\max}	[mm]	6070	6090	6110	6135

zdroj:

<http://www.firesta.cz/download/katalog-protah.pdf>

ověření únosnosti táhla

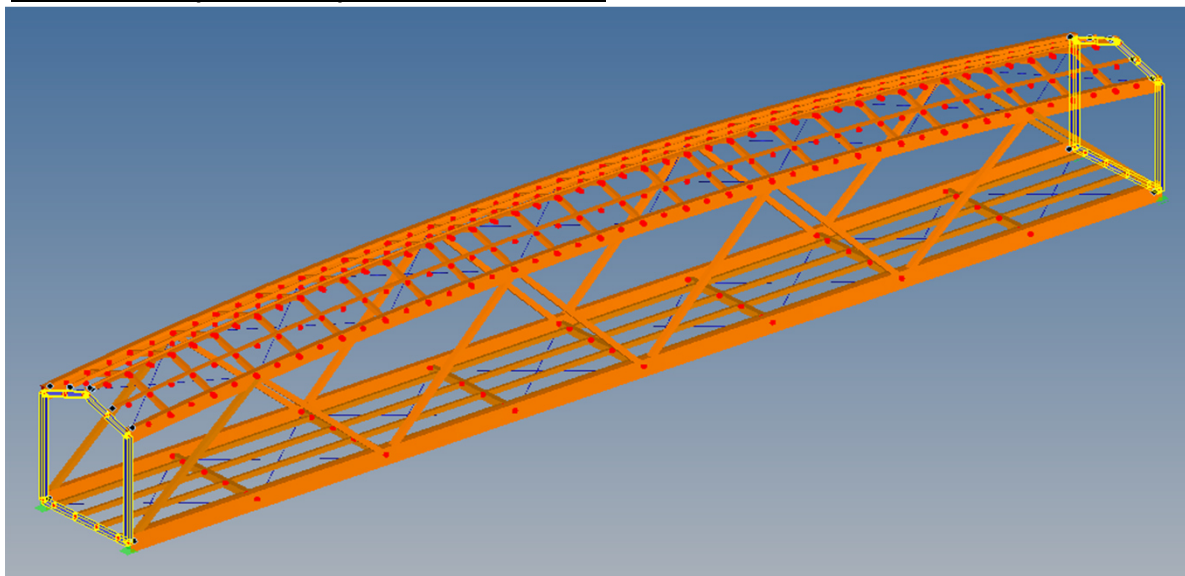
$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

30.44 < 36.40 vyhovuje 83.61%

3.14 Ztužující rám (2ks)

Obě čela lávky jsou ztužena ocelovým rámem z uzavřených profilů tvořených k sobě svařenými UPE-profilý.

Poloha rámu v prostorové příhradové konstrukci

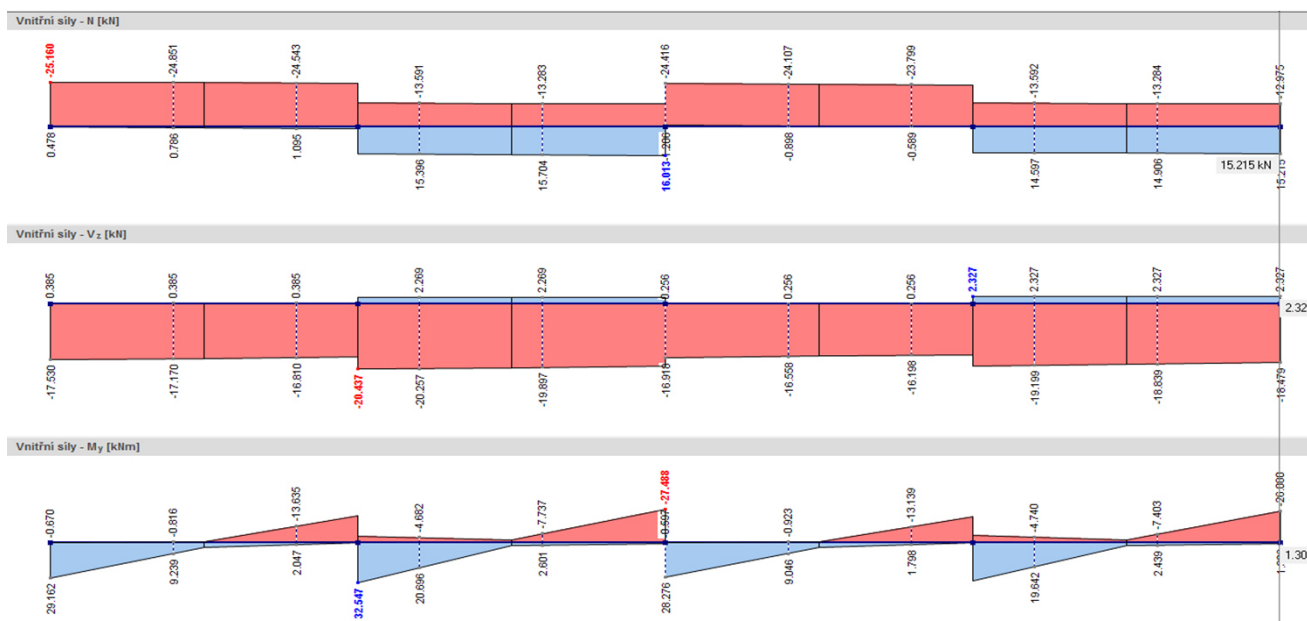


Rám je složen ze sloupů, příčle a příčníku.

3.14.1 Posouzení sloupu

Výsledky výpočtu

kombinace výsledků pro únosnost (uvažované pruty jsou vykresleny vedle sebe)



návrhové vnitřní síly

N_{Ed}	25.16 kN	(tlak)
$V_{Ed} = V_{z,max}$	20.44 kN	
$M_{Ed} = M_{y,max}$	32.55 kNm	

Dimenzování

materiál

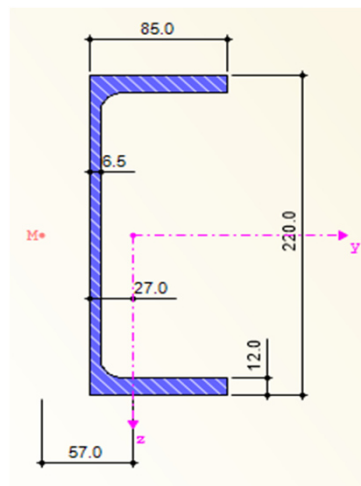
ocel S235

f_y	235 MPa
f_u	360 MPa

průřezové charakteristiky

UPE220

			<u>2 x UPE220</u>
výška profilu	h	220 mm	220 mm
šířka profilu	b	85 mm	170 mm
tloušťka stojiny	t_w	6.5 mm	6.5 mm
tloušťka pásnice	t_f	12 mm	12 mm
plocha průřezu	A	3390 mm ²	6780 mm ²
smyková plocha	A_y	954.2 mm ²	1908.4 mm ²
	A_z	1581 mm ²	3162 mm ²
moment setrvačnosti	I_y	2.68E+07 mm ⁴	5.36E+07 mm ⁴
	I_z	2.46E+06 mm ⁴	4.93E+06 mm ⁴
elastický průřezový modul	$W_{y,el}$	2.44E+05 mm ³	4.88E+05 mm ³
	$W_{z,el}$	4.25E+04 mm ³	8.50E+04 mm ³
plastický průřezový modul	$W_{y,pl}$	2.60E+05 mm ³	5.21E+05 mm ³
	$W_{z,pl}$	7.69E+04 mm ³	1.54E+05 mm ³



zatřídění průřezu

pro jednoduchost je zatřídění pro tlak

$$c = b - 2 * t_w = 170 - 2 * 6.5 = 157 \text{ mm}$$

$$t_w = 6.5 \text{ mm}$$

$$c/t = 157 / 6.5 = 24.15$$

$$c = h - 2 * t_f = 220 - 2 * 12 = 196 \text{ mm}$$

$$t_f = 12 \text{ mm}$$

$$c/t = 196 / 12 = 16.33$$

$$c/t < 33\epsilon = 33$$

Pro oba případy vyhovuje, průřez je třídy 1.

posouzení na MSÚ

vzpěr

uzavřený průřez může vybočit kolmo k ose y nebo z

vzpěrné délky

L	3000 mm
$L_{cr,y} = \beta * L$	6000 mm v rovině
$L_{cr,z} = L$	3000 mm z roviny

kritické síly

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 * E * I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 * 210\,000 * 5.36 * 10^7}{6\,000^2} = 3.088 * 10^6 \text{ N}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 * E * I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 * 210\,000 * 4.93 * 10^6}{3\,000^2} = 1.135 * 10^6 \text{ N}$$

poměrné štíhlosti

pozn. značí se s pruhem nad řeckým písmenem lambda

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{6\,780 * 235}{3.088 * 10^6}} = 0.72$$

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{6\,780 * 235}{1.135 * 10^6}} = 1.18$$

součinitele imperfekce

svažované duté průřezy, křivka vzpěrné pevnosti c pokud platí:

$$\begin{aligned} b / t_f < 30 & \quad b / t_f = 170 / 12 = 14.2 < 30 & \quad \text{platí, křivka c} \\ h / t_w < 30 & \quad h / t_w = 220 / 6.5 = 33.8 > 30 \end{aligned}$$

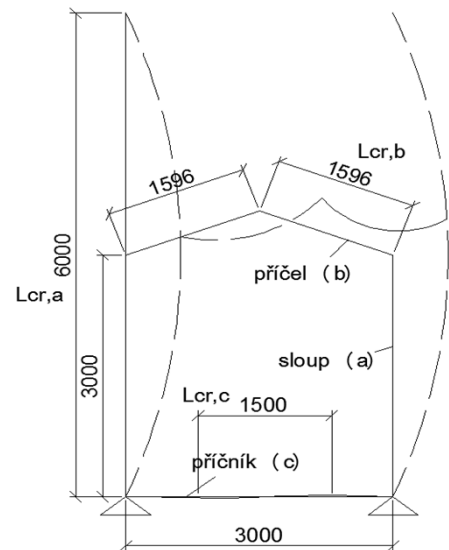
pro U-profil je křivka vzpěrné pevnosti c

$$\alpha = 0.49$$

součinitele vzpěrnosti

$$\varphi_y = 0.5 * [1 + \alpha * (\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^2] = 0.5 * [1 + 0.49 * (0.72 - 0.2) + 0.72^2] = 0.88$$

$$\varphi_z = 0.5 * [1 + \alpha * (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^2] = 0.5 * [1 + 0.49 * (1.18 - 0.2) + 1.18^2] = 1.44$$



$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{0.88 + \sqrt{0.88^2 - 0.72^2}} = 0.71 < 1$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{1.44 + \sqrt{1.44^2 - 1.18^2}} = 0.44 < 1$$

návrhová vzpěrná únosnost tlačенého prutu

$$N_{b,Rd,y} = \chi_y * A * f_y / \gamma_{M1} = 0.71 * 6\,780 * 235 / 1.00 = 1.137 * 10^6 \text{ N} = 1136.56 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd,z} = \chi_z * A * f_y / \gamma_{M1} = 0.44 * 6\,780 * 235 / 1.00 = 7.027 * 10^5 \text{ N} = 702.72 \text{ kN}$$

posouzení

$$N_{Ed} / N_{b,Rd,y} = 25.16 / 1136.56 = 0.02 < 1 \quad \text{vyhovuje} \quad 2.21\%$$

$$N_{Ed} / N_{b,Rd,z} = 25.16 / 702.72 = 0.04 < 1 \quad \text{vyhovuje} \quad 3.58\%$$

ohybový moment

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl,y} * f_y / \gamma_{M0} = 5.21 * 10^5 * 235 / 1.00 = 1.224 * 10^8 \text{ Nmm} = 122.42 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} / M_{c,Rd} = 32.55 / 122.42 = 0.27 < 1 \quad \text{vyhovuje} \quad 26.59\%$$

smyk

$$V_{pl,Rd} = A_z * (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} = 3\,162 * (235 / \sqrt{3}) = 429\,012 \text{ N} = 429.01 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} / V_{pl,Rd} = 20.44 / 429.01 = 0.05 < 1 \quad \text{vyhovuje} \quad 4.76\%$$

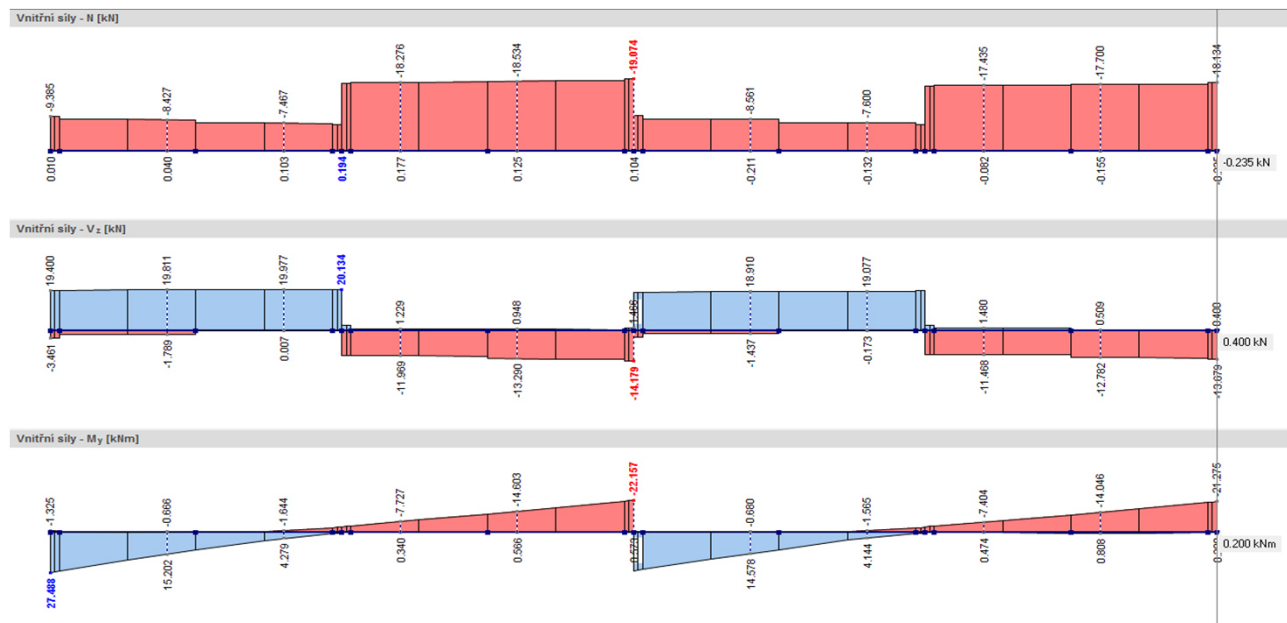
Návrhové hodnoty ohybového momentu a posouvacích sil ve druhém směru jsou řádově menší.

Průřez vyhovuje s dostatečnou rezervou na MSÚ, jeho rozměry jsou voleny z důvodu ztužení celé lávky a estetiky, kdy lícuje se všemi prvky konstrukce.

3.14.2 Posouzení příčle

Výsledky výpočtu

kombinace výsledků pro únosnost (uvažované pruty jsou vykresleny vedle sebe)



návrhové vnitřní síly

N_{Ed}	19.07 kN	(tlak)
$V_{Ed} = V_{z,max}$	20.13 kN	
$M_{Ed} = M_{y,max}$	22.49 kNm	

Dimenzování

materiál

ocel S235

f_y 235 MPa

f_u 360 MPa

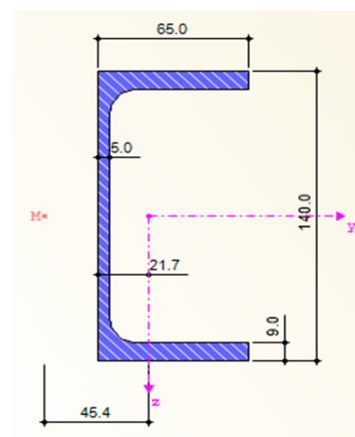
průřezové charakteristiky

UPE140

výška profilu	h	140 mm
šířka profilu	b	65 mm
tloušťka stojiny	t_w	5 mm
tloušťka pásnice	t_f	9 mm
plocha průřezu	A	1840 mm ²
smýková plocha	A_y	623.3 mm ²
	A_z	825 mm ²

2 x UPE140

výška profilu	h	140 mm
šířka profilu	b	130 mm
tloušťka stojiny	t_w	5 mm
tloušťka pásnice	t_f	9 mm
plocha průřezu	A	3680 mm ²
smýková plocha	A_y	1246.6 mm ²
	A_z	1650 mm ²



moment setrvačnosti	I_y	6.00E+06 mm ⁴	1.20E+07 mm ⁴
	I_z	7.87E+05 mm ⁴	1.57E+06 mm ⁴
elastický průřezový modul	$W_{y,el}$	8.56E+04 mm ³	1.71E+05 mm ³
	$W_{z,el}$	1.82E+04 mm ³	3.64E+04 mm ³
plastický průřezový modul	$W_{y,pl}$	9.25E+04 mm ³	1.85E+05 mm ³
	$W_{z,pl}$	3.26E+04 mm ³	6.52E+04 mm ³

zatřídění průřezu

pro jednoduchost je zatřídění pro tlak

$$c = b - 2 * t_w = 130 - 2 * 5 = 120 \text{ mm}$$

$$t_w = 5 \text{ mm}$$

$$c/t = 120 / 5 = 24$$

$$c = h - 2 * t_f = 140 - 2 * 9 = 122 \text{ mm}$$

$$t_f = 9 \text{ mm}$$

$$c/t = 122 / 9 = 13.56$$

$$c/t < 33\epsilon = 33$$

Pro oba případy vyhovuje, průřez je třídy 1.

posouzení na MSÚ

vzpěr

uzavřený průřez může vybočit kolmo k ose y nebo z

vzpěrné délky

$$L = 1600 \text{ mm}$$

$$L_{cr,y} = L = 1600 \text{ mm} \text{ v rovině}$$

$$L_{cr,z} = 2 * L = 3200 \text{ mm z roviny}$$

kritické síly

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 * E * I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 * 210\,000 * 1.20 * 10^7}{1\,600^2} = 9.707 * 10^6 \text{ N}$$

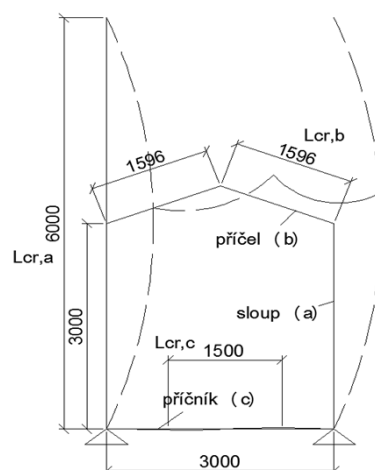
$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 * E * I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 * 210\,000 * 1.57 * 10^6}{3\,200^2} = 3.186 * 10^5 \text{ N}$$

poměrné štíhlosti

pozn. značí se s pruhem nad řeckým písmenem lambda

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{3\,680 * 235}{9.707 * 10^6}} = 0.30$$

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{3\,680 * 235}{3.186 * 10^5}} = 1.65$$



součinitele imperfekce

svařované duté průřezy, křivka vzpěrné pevnosti c pokud platí:

$$b / t_f = 130 / 9 = 14.4 < 30$$

platí, křivka c

$$h / t_w = 140 / 5 = 28 < 30$$

platí, křivka c

pro U-profil je křivka vzpěrné pevnosti c

α

0.49

součinitele vzpěrnosti

$$\phi_y = 0.5 * [1 + \alpha * (\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^2] = 0.5 * [1 + 0.49 * (0.30 - 0.2) + 0.30^2] = 0.57$$

$$\phi_z = 0.5 * [1 + \alpha * (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^2] = 0.5 * [1 + 0.49 * (1.65 - 0.2) + 1.65^2] = 2.21$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{0.57 + \sqrt{0.57^2 - 0.30^2}} = 0.95 < 1$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{2.21 + \sqrt{2.21^2 - 1.65^2}} = 0.27 < 1$$

návrhová vzpěrná únosnost tlačeního prutu

$$N_{b,Rd,y} = \chi_y * A * f_y / \gamma_{M1} = 0.95 * 3\,680 * 235 / 1.00 = 8.21 * 10^5 \text{ N} = 821.50 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd,z} = \chi_z * A * f_y / \gamma_{M1} = 0.27 * 3\,680 * 235 / 1.00 = 2.35 * 10^5 \text{ N} = 234.51 \text{ kN}$$

posouzení

$$N_{Ed} / N_{b,Rd,y} = 19.07 / 821.50 = 0.02 < 1$$

vyhovuje

2.32%

$$N_{Ed} / N_{b,Rd,z} = 19.07 / 234.51 = 0.08 < 1$$

vyhovuje

8.13%

ohybový moment

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl,y} * f_y / \gamma_{M0} = 1.85 * 10^5 * 235 / 1.00 = 4.35 * 10^7 \text{ Nmm} = 43.47 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} / M_{c,Rd} = 22.49 / 43.47 = 0.52 < 1$$

vyhovuje

51.74%

smyk

$$V_{pl,Rd} = A_z * (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} = 1\,650 * (235 / \sqrt{3}) / 1.00 = 223\,868 \text{ N} = 223.87 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} / V_{pl,Rd} = 20.13 / 223.87 = 0.09 < 1$$

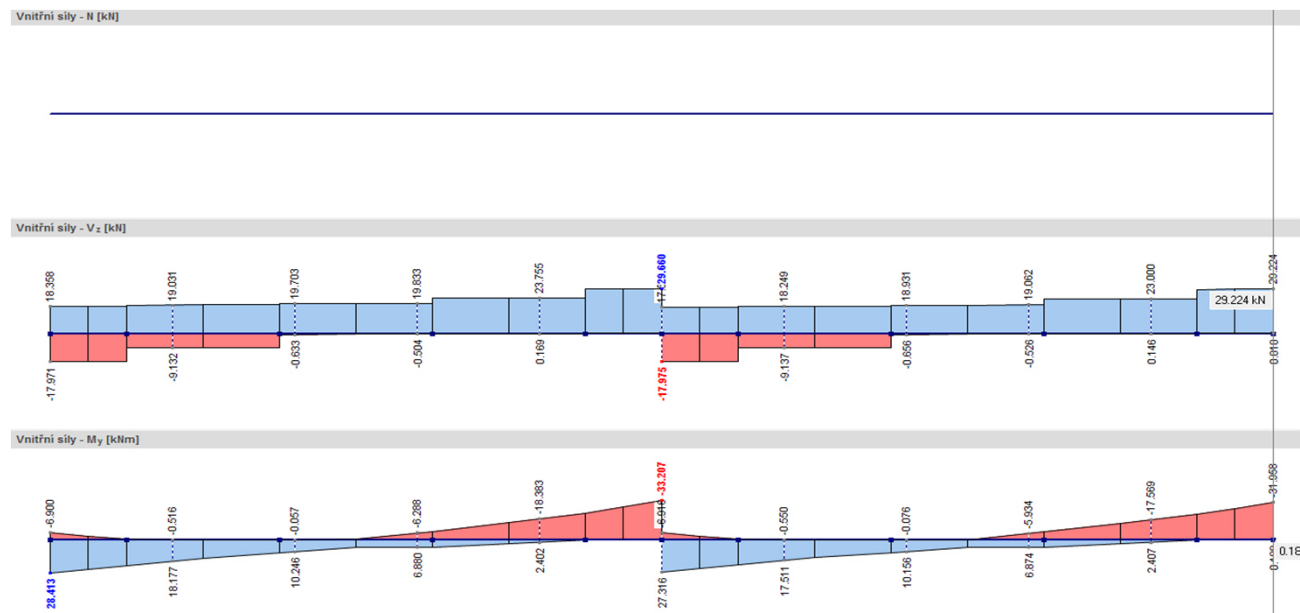
vyhovuje

8.99%

3.14.3 Posouzení příčnicku

Výsledky výpočtu

kombinace výsledků pro únosnost (uvažované pruty jsou vykresleny vedle sebe)



návrhové vnitřní síly

N_{Ed}	0 kN
$V_{Ed} = V_{z,max}$	29.66 kN
$M_{Ed} = M_{y,max}$	33.21 kNm

Dimenzování

materiál

ocel S235	
f_y	235 MPa
f_u	360 MPa

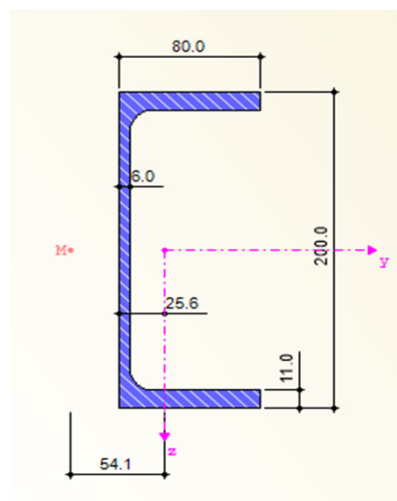
průřezové charakteristiky

UPE140

výška profilu	h	200 mm
šířka profilu	b	80 mm
tloušťka stojiny	t_w	6 mm
tloušťka pásnice	t_f	11 mm
plocha průřezu	A	2900 mm ²
smyková plocha	A_y	845 mm ²
	A_z	1350 mm ²

2 x UPE200

výška profilu	200 mm
šířka profilu	160 mm
tloušťka stojiny	6 mm
tloušťka pásnice	11 mm
plocha průřezu	5800 mm ²
smyková plocha	1690 mm ²
	2700 mm ²



moment setrvačnosti	I_y	1.91E+07 mm ⁴	3.82E+07 mm ⁴
	I_z	1.87E+06 mm ⁴	3.75E+06 mm ⁴
elastický průřezový modul	$W_{y,el}$	1.91E+05 mm ³	3.82E+05 mm ³
	$W_{z,el}$	3.44E+04 mm ³	6.89E+04 mm ³
plastický průřezový modul	$W_{y,pl}$	2.04E+05 mm ³	4.08E+05 mm ³
	$W_{z,pl}$	6.22E+04 mm ³	1.24E+05 mm ³

zatřídění průřezu

pro jednoduchost je zatřídění pro tlak

$$c = b - 2 * t_w = 160 - 2 * 6 = 148 \text{ mm}$$

$$t_w = 6 \text{ mm}$$

$$c/t = 148 / 6 = 24.67$$

$$c = h - 2 * t_f = 200 - 2 * 11 = 178 \text{ mm}$$

$$t_f = 11 \text{ mm}$$

$$c/t = 178 / 11 = 16.18$$

$$c/t < 33\epsilon = 33$$

Pro oba případy vyhovuje, průřez je třídy 1.

posouzení na MSÚ

ohybový moment

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl,y} * f_y / \gamma_{M0} = 4.08 * 10^5 * 235 / 1.00 = 9.59 * 10^7 \text{ Nmm} = 95.90 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} / M_{c,Rd} = 33.21 / 95.90 = 0.35 < 1$$

vyhovuje

34.63%

smyk

$$V_{pl,Rd} = A_z * (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} = 2700 * (235 / \sqrt{3}) = 366329 \text{ N} = 366.33 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} / V_{pl,Rd} = 29.66 / 366.33 = 0.08 < 1$$

vyhovuje

8.10%

4.1 Montážní spoj vaznice

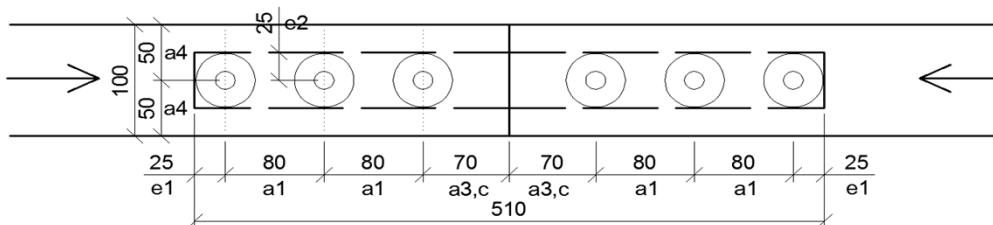
Vaznice má délku rovnu 30m. Možná délka je závislá na přepravních možnostech. Maximální možná délka prutu z lepeného lamelového dřeva se podle výrobců pohybuje kolem 24m.

Montážní spoj se provede ve vzdálenosti 13 m. Délky spojovaných částí jsou 13 a 17 m.

Spoj je proveden jako svorníkový s ocelovou deskou, která je vložena do zářezu ve vaznici. Jako mechanické spojovací prostředky jsou použity svorníky. Ty jsou namáhány na stříh.

4.1.1 Schéma a vnitřní síly

Schéma spoje



1 x plech, t=5mm
3 x svorník, d=16mm

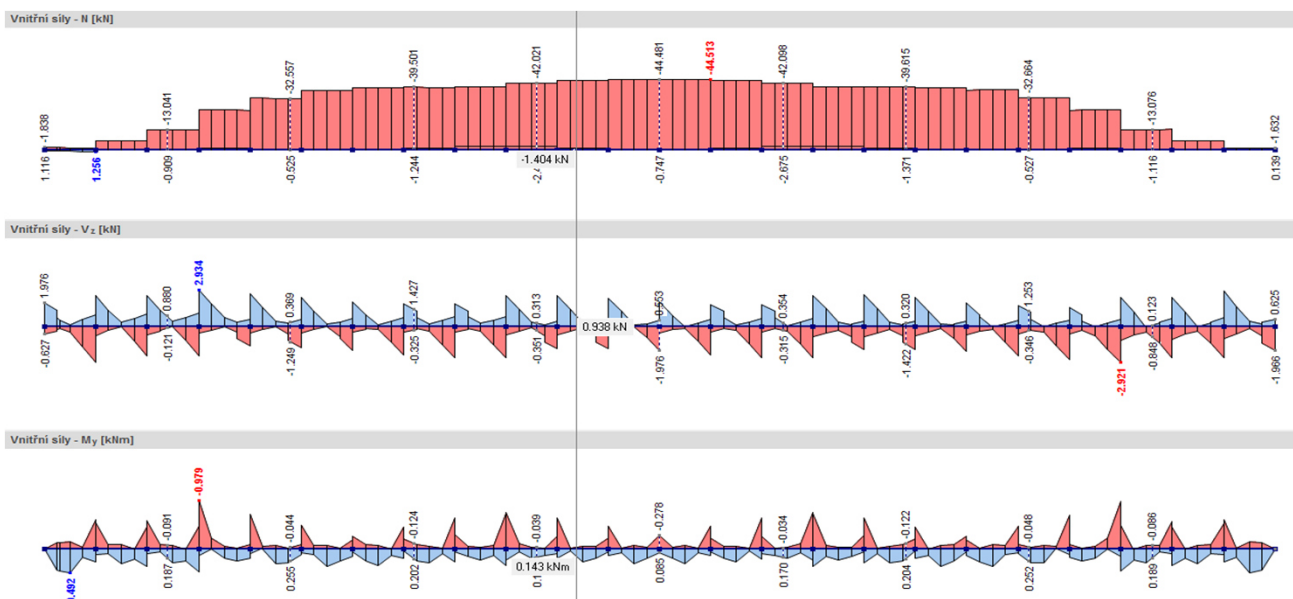
Oslabení průřezu

h	100 mm	b	80 mm
d (přesný svorník)	16 mm	t (deska)	5 mm
n svorníků	1	n desek	1
$h_{net} = h - d \cdot n$	84 mm	$b_{net} = b - t \cdot n$	75 mm

$$A_{net} = h_{net} \cdot b_{net} \quad 6300 \text{ mm}^2$$

Návrhové vnitřní síly v místě spoje

obálka vnitřních sil



N_{Ed}	43.52 kN	(tlak)
$V_{z,Ed}$	0.94 kN	
$M_{y,Ed}$	0.14 kNm	(kladný)

4.1.2 Zatížení a geometrie spoje

Zatížení

stanovení zatížení z momentu

$$F_{M,x} = M_{y,Ed} * y_j / (\Sigma x_i^2 + y_i^2) = 0.14 * 0 / (2 * 0.08^2) = 0 \text{ kN}$$

$$F_{M,y} = M_{y,Ed} * x_j / (\Sigma x_i^2 + y_i^2) = 0.14 * 0.08 / (2 * 0.08^2) = 0.89 \text{ kN}$$

stanovení zatížení z normálové a posouvací síly

$$F_N = N_{Ed} / n = 43.52 / 3 = 14.51 \text{ kN}$$

$$F_V = V_{z,Ed} / n = 0.94 / 3 = 0.31 \text{ kN}$$

$$n = 3$$

stanovení celkového zatížení

$$F = \sqrt{(F_{M,x} + FN)^2 + (F_{M,y} + FV)^2} = \sqrt{(0 + 14.51)^2 + (0.89 + 0.31)^2} = 14.56 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = F / 2 = 14.56 / 2 = 7.28 \text{ kN}$$

2 roviny stříhu

úhel mezi silou a směrem vláken

$$\alpha = \arctg((F_{M,y} + F_V) / (F_{M,x} + F_N)) = \arctg((0.89 + 0.31) / (0 + 14.51)) = 4.75^\circ$$

Geometrie spoje

průměr spojovacího prostředku

d	16 mm
d ₀	16 mm

tabulka minimálních roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro svorníky

Rozteče a vzdálenosti od okrajů/konců	Úhel	Min. rozteče nebo vzd. od okrajů/konců	
a ₁ (rovnoběžně s vlákny)	0° ≤ α ≤ 360°	(4 + cos α) * d	80 mm
a ₂ (kolmo na vlákna)	0° ≤ α ≤ 360°	4 * d	64 mm
a _{3,t} (zatížený konec)	-90° ≤ α ≤ 90°	max(7 * d; 80 mm)	112 mm
a _{3,c} (nezatížený konec)	90° ≤ α ≤ 150°	max((1 + 6 * sin α) * d; 4 * d)	64 mm
	150° ≤ α ≤ 210°	4 * d	64 mm
	210° ≤ α ≤ 270°	max((1 + 6 * sin α) * d; 4 * d)	64 mm
a _{4,t} (zatížený okraj)	0° ≤ α ≤ 180°	max((2 + 2 * sin α) * d; 3 * d)	48 mm
a _{4,c} (nezatížený okraj)	180° ≤ α ≤ 360°	3 * d	48 mm

tabulka nejmenších roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro vložený plech

rozměry desky

h	50 mm
t	5 mm

nejméně

e ₁ (vzdálenost od konce)	1.2 * d ₀	19.2 mm
e ₂ (vzdálenost od okraje)	1.2 * d ₀	19.2 mm
p ₁ (rozteč v podélném směru)	2.2 * d ₀	35.2 mm
p ₂ (rozteč v kolmém směru)	2.4 * d ₀	38.4 mm

použité rozteče nebo vzdálenosti od okrajů/konců

a ₁ (rovnoběžně s vláknem)	80 mm	e ₁	25 mm
a _{3,c} (nezatížený konec)	70 mm	e ₂	25 mm
a _{4,t} (zatížený okraj)	50 mm	p ₁	80 mm
a _{4,c} (nezatížený okraj)	50 mm		

třída spojovacího prostředku (8.8)

f _y	640 N/mm ²
f _{u,k}	800 N/mm ²

4.1.3 Posouzení spojovacích prostředků

Podle ČSN-EN 1995-1-1.

Spoj dřevo - dřevo

hustota dřeva

ρ _k	385 kg/m ³	GL-24h
----------------	-----------------------	--------

charakteristická hodnota plastického momentu únosnosti M_{y,Rk}

$$M_{y,Rk} = 0.3 * f_{u,k} * d^{2.6} = 0.3 * 800 * 16^{2.6} = 324\,282 \text{ Nmm}$$

charakteristická pevnost v otlačení ve dřevu f_{h,k}

$$f_{h,0,k} = 0.082 * (1 - 0.01 * d) * \rho_k = 0.082 * (1 - 0.01 * 16) * 385 = 26.52 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} * \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{26.52}{1.59 * \sin^2 4.75 + \cos^2 4.75} = 26.41 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{90} = 1.35 + 0.015 * d = 1.35 + 0.015 * 16 = 1.59$$

pro dřevo jehličnatých dřevin

počet spojovacích prostředků pro výpočet

počet v řadě

n 3 *skutečný počet*

$$n_{ef} = \min \left\{ n^{0.9} * \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} = \min \left\{ 3^{0.9} * \sqrt[4]{\frac{80}{13 * 16}} = 2.12 = 2.12 \right. \right.$$

pro zatížení kolmo k vláknům

$n_{ef} = n$ 3

pro úhly $0^\circ < \alpha < 90^\circ$

α 4.75 ° *úhel odklonu od vodorovného směru interpolace*
 $n_{ef} = 2.12 + (3 - 2.12) * 4.75 * (1 / 90) = 2.16$

počet řad

n_r 1

účinný počet spojovacích prostředků

$$n_c = n_{ef} * n_r = 2.16 * 1 = 2.16$$

celkový počet spojovacích prostředků

$$n_{celk} = n * n_r = 3 * 1 = 3$$

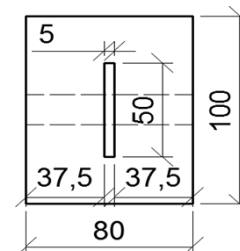
Spoj ocel - dřevo

menší tloušťka dřevěného prvku

$$t_1 = (b - t) / 2 = (80 - 5) / 2 = 37.5 \text{ mm}$$

charakteristická únosnost na vytažení spojovacího prostředku

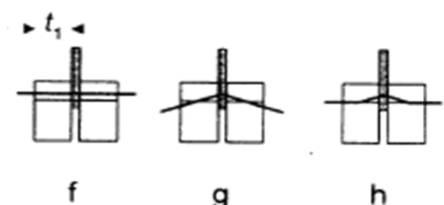
$F_{ax,Rk}$ 0 kN



síla není známa

charakteristická únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ f_{h,1,k} * t_1 * d * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} * d * t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \right. \\ \left. 2.3 * \sqrt{M_{y,Rk} * f_{h,1,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \right.$$



$$F_{v,Rk} = \min \left\{ 26.41 * 37.5 * 16 * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * 324 * 282}{26.41 * 16 * 37.5^2}} - 1 \right] + \frac{0}{4} = \min \left\{ \begin{matrix} 15847 \text{ N} \\ 16563 \text{ N} \\ 26925 \text{ N} \end{matrix} \right. \right.$$

návrhová únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku

γ_M	1.25	
k_{mod}	0.9	třída provozu 2

$$F_{v,Rd,1} = F_{v,Rk} * k_{mod} / \gamma_M = 15\,847 * 0.9 / 1.25 = 11\,410 \text{ N}$$

Návrhová únosnost spoje

počet spojovacích prostředků

n_c	2.16
-------	------

počet rovin stříhu

n_s	2
-------	---

návrhová únosnost spoje

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd,1} * n_c * n_s = 11\,410 * 2.16 * 2 = 49\,368 \text{ N}$$

Posouzení spoje na stříh

N_{Ed}	43.52 kN			
$F_{v,Rd} > N_{Ed}$	49.37	>	43.52 kN	vyhovuje 88.14%

Posouzení nejzatíženějšího spojovacího prostředku

$F_{v,Ed}$	7.28 kN			
$F_{v,Rd,1} > F_{v,Ed}$	11.41	>	7.28 kN	vyhovuje 63.78%

4.1.4 Posouzení ocelové desky

Podle ČSN-EN 1993-1-1 a ČSN-EN 1993-1-8.

1. Posouzení desky v otláčení (má menší pevnost než spojovací prostředky)

materiál desky a příslušné pevnosti

ocel S235

f_y	235 MPa
f_u	360 MPa

průřezové charakteristiky desky

h	50 mm
t	5 mm

$$A = h * t = 50 * 5 = 250 \text{ mm}^2$$

velikost otvorů v desce

d_0	16 mm
-------	-------

únosnost v otláčení

γ_{M2}	1.25
---------------	------

1) ve směru zatížení

pro spojovací prostředky na konci

$$\alpha_d = e_1/3d_0 = 25 / (3 * 16) = 0.52$$

pro vnitřní spojovací prostředky

$$\alpha_d = p_1/3d_0 - 1/4 = 80 / (3 * 16) - 1/4 = 1.42$$

2) kolmo na směr zatížení

spojovací prostředky u okraje

$$k_1 = \min(2.8 * e_2/d_0 - 1.7; 2.5) = \min(2.8 * 25/16 - 1.7; 2.5) = 2.50$$

$$\alpha_b = \min(\alpha_d; f_{ub}/f_u; 1) = \min(0.52; 800/360; 1) = 0.52$$

$$F_{b,Rd} = k_1 * a_b * f_u * d * t / \gamma_{M2} = 2.50 * 0.52 * 360 * 16 * 5 / 1.25 = 30\,000 \text{ N}$$

posouzení na únosnost v otláčení

Posudek se provádí se silou neredukovanou počtem stříhů.

$F_{b,Rd} > F$	30.00	>	14.56 kN	vyhovuje	48.52%
----------------	--------------	-------------	-----------------	----------	--------

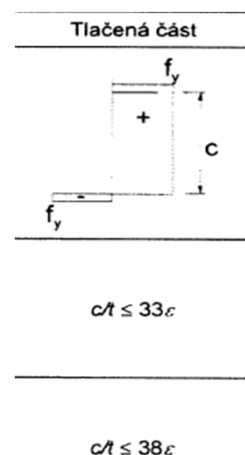
2. Posouzení na přenos vnitřních sil

N_{Ed}	43.52 kN	(tlak)
$V_{z,Ed}$	0.94 kN	
$M_{y,Ed}$	0.14 kNm	(kladný)

zatřídění průřezu

zatřídění je pro tlak

c = h	50 mm
t	5 mm
c/t	10
$\epsilon = (235/f_y)^{0.5}$	1.00



třída 1: $c/t < 33\epsilon$ 10 < 33.00 vyhovuje

Tlak

$$N_{c,Rd} = A * f_y / \gamma_{M0} = 250 * 235 / 1.00 = 58\,750 \text{ N}$$

$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 43.52 / 58.75 = 0.74 < 1.00$ vyhovuje 74.07%

Ohybový moment

statický moment poloviny průřezu k těžišťové ose y

$$S_y(A/2) = A/2 * z_c = 250 / 2 * 12.5 = 1\,562.5 \text{ mm}^3$$

$$z_c = h/4 = 50 / 4 = 12.5 \text{ mm}$$

plastický průřezový modul

$$W_{pl} = 2 * S_y(A/2) = 2 * 1\,562.5 = 3\,125 \text{ mm}^3$$

posouzení

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl} * f_y / \gamma_{M0} = 3\,125 * 235 / 1.00 = 734\,375 \text{ Nmm}$$

$M_{y,Ed} < M_{c,Rd}$ **0.14** < **0.73 kNm** vyhovuje 19.47%

Smyk

smyková plocha

$$A_v = A \quad 250 \text{ mm}^2$$

posouzení

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_y}{\gamma_{M0} * \sqrt{3}} = \frac{250 * 235}{1.00 * \sqrt{3}} = 33\,919 \text{ N}$$

$V_{z,Ed} < V_{pl,Rd}$ **0.94** < **33.9 kN** vyhovuje 2.77%

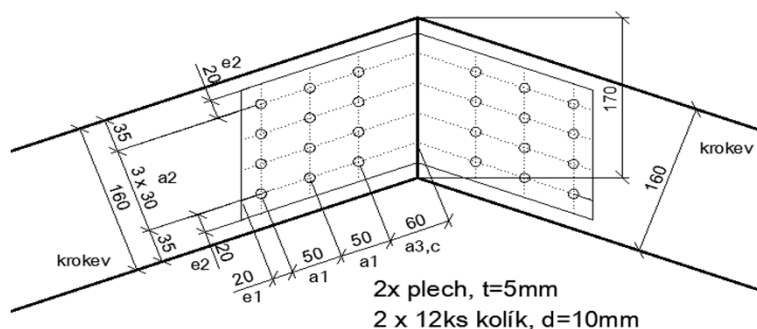
Méně než 50%, neposuzuje se kombinace s ohybem.

4.2 Spojení krokve ve vrcholu

Přípoj je proveden jako kolíkový se dvěma ocelovými deskami, které jsou vloženy do zářezů v krokvi.

4.2.1 Schéma a vnitřní síly

Schéma spoje

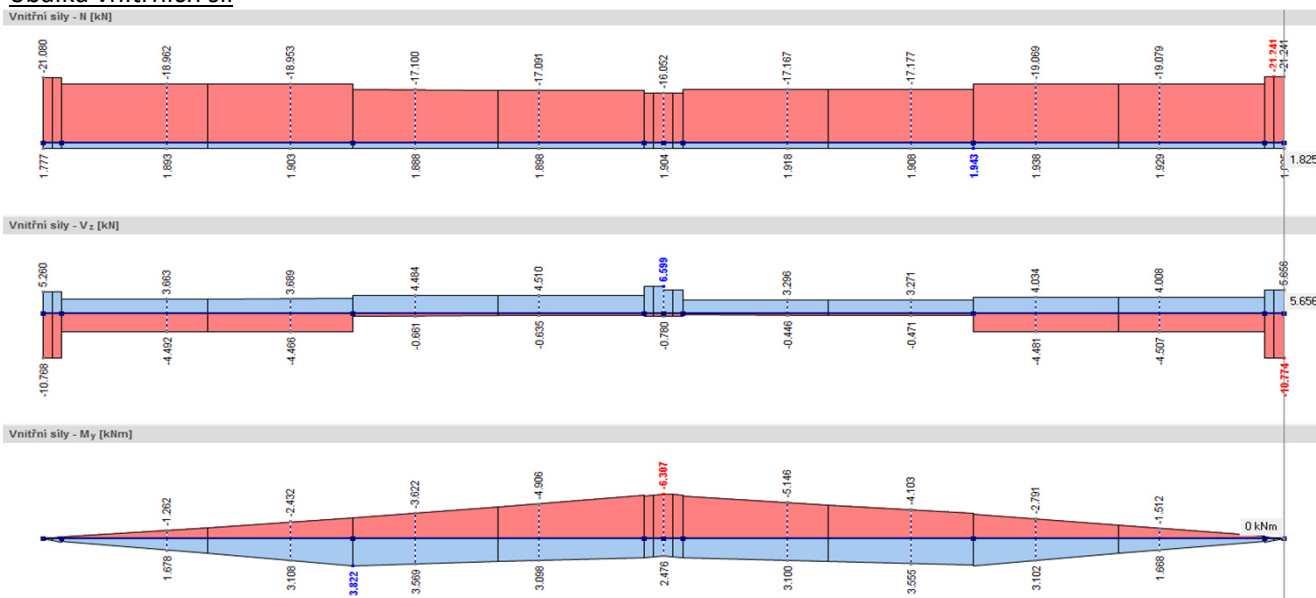


Oslabení průřezu

h	160 mm
d (kolík)	10 mm
n kolíků	1
$h_{net} = h - d * n$	150 mm
b	100 mm
t (deska)	5 mm
n desek	2
$b_{net} = b - t * n$	90 mm
$A_{net} = h_{net} * b_{net}$	13500 mm ²

Návrhové vnitřní síly v krokvi

obálka vnitřních sil



N_{Ed}	16.05 kN	(tlak)
$V_{z,Ed}$	6.60 kN	
$M_{y,Ed}$	6.31 kNm	

4.2.2 Zatížení a geometrie spoje

Zatížení

1. zatížení $F_{v,Ed,a}$

stanovení zatížení z normálové a posouvací síly

$$F_{v,Ed,a} = \sqrt{N_{Ed}^2 + V_{z,Ed}^2} = \sqrt{16.05^2 + 6.60^2} = 17.36 \text{ kN}$$

úhel mezi silou a směrem vláken

$$\alpha = \arctg(V_{z,Ed} / N_{Ed}) = \arctg(6.60 / 16.05) = 22.35^\circ$$

2. zatížení $F_{v,Ed,b}$

stanovení zatížení z momentu

$$F_{M,x} = M_{y,Ed} * y_j / (\Sigma(x_i^2 + y_i^2)) = 6.31 * 0.045 / (6*0.045^2 + 6*0.015^2 + 8*0.05^2) = 8.47 \text{ kN}$$

$$F_{M,y} = M_{x,Ed} * x_j / (\Sigma(x_i^2 + y_i^2)) = 6.31 * 0.05 / (6*0.045^2 + 6*0.015^2 + 8*0.05^2) = 9.41 \text{ kN}$$

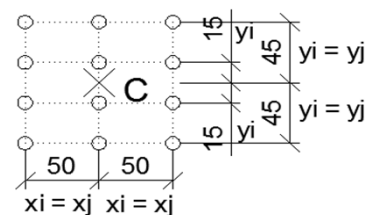
stanovení zatížení z normálové a posouvací síly

$$F_N = N_{ed} / n = 16.05 / 12 = 1.34 \text{ kN}$$

$$F_V = V_{z,Ed} / n = 6.60 / 12 = 0.55 \text{ kN}$$

n

12



stanovení celkového zatížení

$$F = \sqrt{(F_{M,x} + F_N)^2 + (F_{M,y} + F_V)^2} = \sqrt{(8.47 + 1.34)^2 + (9.41 + 0.55)^2} = 13.98 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed,b} = F / 4 = 13.98 / 4 = 3.50 \text{ kN}$$

4 roviny stříhu

úhel mezi silou a směrem vláken

$$\alpha = \arctg((F_{M,y} + F_V) / (F_{M,x} + F_N)) = \arctg((9.41 + 0.55) / (8.47 + 1.34)) = 45.45^\circ$$

Geometrie spoje

průměr spojovacího prostředku

d 10 mm

tabulka minimálních roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro kolíky

Rozteče a vzdálenosti od okrajů/konců	Úhel	Min. rozteče nebo vzd. od okrajů/konců	
a_1 (rovnoběžně s vlákny)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(3+2 * \cos \alpha) * d$	44 mm
a_2 (kolmo na vlákna)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 * d$	30 mm
$a_{3,t}$ (zatížený konec)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7 * d; 80 \text{ mm})$	80 mm
$a_{3,c}$ (nezatížený konec)	$90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$	$\max(a_{3,t} * \sin \alpha ; 3 * d)$	57 mm
	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	$3 * d$	30 mm

$a_{3,c}$ (nezatížený konec)	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$\max(a_{3,t} * \sin \alpha); 3*d$	57 mm
$a_{4,t}$ (zatížený okraj)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max((2 + 2 * \sin \alpha)*d; 3*d)$	34 mm
$a_{4,c}$ (nezatížený okraj)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3*d$	30 mm

tabulka nejmenších roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro vložený plech

rozměry desky

h	130 mm
t	5 mm

velikost otvorů

d_0	10 mm
-------	-------

nejméně

e_1 (vzdálenost od konce)	$1.2 * d_0$	12 mm
e_2 (vzdálenost od okraje)	$1.2 * d_0$	12 mm
p_1 (rozteč v podélném směru)	$2.2 * d_0$	22 mm
p_2 (rozteč v kolmém směru)	$2.4 * d_0$	24 mm

použité rozteče nebo vzdálenosti od okrajů/konců

a_1 (rovnoběžně s vlákny)	50 mm	e_1	20 mm
a_2 (kolmo na vlákna)	30 mm	e_2	20 mm
$a_{3,c}$ (nezatížený konec)	60 mm	p_1	50 mm
a_4	35 mm	p_2	30 mm

třída spojovacího prostředku 6.8

f_y	480 N/mm ²
$f_{u,k}$	600 N/mm ²

4.2.3 Posouzení spojovacích prostředků

Podle ČSN-EN 1995-1-1.

Spoj dřevo - dřevo

hustota dřeva

ρ_k	385 kg/m ³	GL-24h
----------	-----------------------	--------

charakteristická hodnota plastického momentu únosnosti $M_{y,Rk}$

$$M_{y,Rk} = 0.3 * f_{u,k} * d^{2.6} = 0.3 * 600 * 10^{2.6} = 71\,659 \text{ Nmm}$$

charakteristická pevnost v otláčení ve dřevu $f_{h,k}$

$$f_{h,0,k} = 0.082 * (1 - 0.01 * d) * \rho_k = 0.082 * (1 - 0.01 * 10) * 385 = 28.41 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,\alpha,k,a} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{f_{h,0,k}}{1.50 \cdot \sin^2 22.35 + \cos^2 22.35} = 26.50 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,\alpha,k,b} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{f_{h,0,k}}{1.50 \cdot \sin^2 45.45 + \cos^2 45.45} = 22.66 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{90} = 1.35 + 0.015 \cdot d = 1.35 + 0.015 \cdot 10 = 1.50$$

pro dřevo jehličnatých dřevin

účinný počet spojovacích prostředků pro výpočet

počet v řadě

n 3 skutečný počet

$$n_{ef} = \min \left\{ n^{0.9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \right\} = \min \left\{ 3^{0.9} \cdot \sqrt[4]{\frac{50}{13 \cdot 10}} \right\} = \min \left\{ 2.12 \right\} = 2.12$$

pro zatížení kolmo k vláknům

$n_{ef} = n$ 3

pro úhly $0^\circ < \alpha < 90^\circ$

α 22.35 ° úhel odklonu od vodorovného směru
 $n_{ef} = 2.12 + (3 - 2.12) \cdot 22.35 \cdot (1/90) = 2.34$

počet řad

$n_{\bar{r}}$ 4

účinný počet spojovacích prostředků

$$n_c = n_{ef} \cdot n_{\bar{r}} = 2.34 \cdot 4 = 9.34$$

celkový počet spojovacích prostředků

$$n_{celk} = n \cdot n_{\bar{r}} = 3 \cdot 4 = 12$$

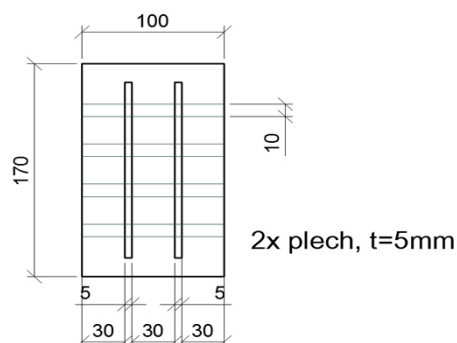
Spoj ocel - dřevo

nejmenší tloušťka dřevěného prvku

t_1 30 mm

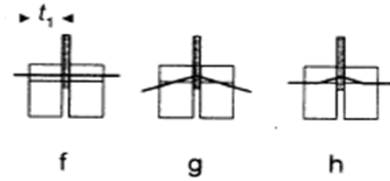
charakteristická únosnost na vytažení spojovacího prostředku

$F_{ax,Rk}$ 0 kN síla není známá



charakteristická únosnost pro jeden střih jednoho spojovacího prostředku

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} * t_1 * d * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} * d * t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2.3 * \sqrt{M_{y,Rk} * f_{h,1,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$



a) pro celý spoj

$$F_{v,Rk,1} = \min \left\{ \begin{array}{l} 26.50 * 30 * 10 * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * 71\,659}{26.50 * 10 * 30^2}} - 1 \right] + \frac{0}{4} \\ 2.3 * \sqrt{71\,659 * 26.50 * 10} + \frac{0}{4} \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} 7\,949\,N \\ 6\,275\,N \\ 10\,022\,N \end{array} \right. = 6\,275\,N$$

b) pro nejzatíženější spojovací prostředek

$$F_{v,Rk,2} = \min \left\{ \begin{array}{l} 22.66 * 30 * 10 * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * 71\,659}{22.66 * 10 * 30^2}} - 1 \right] + \frac{0}{4} \\ 2.3 * \sqrt{71\,659 * 22.66 * 10} + \frac{0}{4} \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} 6\,798\,N \\ 5\,747\,N \\ 9\,268\,N \end{array} \right. = 5\,747\,N$$

návrhová únosnost pro jeden střih jednoho spojovacího prostředku

γ_M	1.25
k_{mod}	0.9

třída provozu 2

$$F_{v,Rd,1} = F_{v,Rk,1} * k_{mod} / \gamma_M = 6\,275 * 0.9 / 1.25 = 4\,518\,N$$

$$F_{v,Rd,2} = F_{v,Rk,2} * k_{mod} / \gamma_M = 5\,747 * 0.9 / 1.25 = 4\,138\,N$$

Návrhová únosnost spoje

počet spojovacích prostředků

$$n_c = 9.34$$

počet rovin střihu

$$n_s = 4$$

návrhová únosnost spoje

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd,1} * n_c * n_s = 4\,518 * 9.34 * 4 = 168\,872\,N$$

Posouzení spoje na střih

$$F_{v,Ed,a} = 17.36\,kN$$

$$F_{v,Rd} > F_{v,Ed,a} \quad 168.87 > 17.36\,kN \quad \text{vyhovuje} \quad 10.28\%$$

Posouzení nejzatíženějšího spojovacího prostředku

$$F_{v,Ed,b} \quad 3.50 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd,2} > F_{v,Ed,b} \quad 4.14 > 3.50 \text{ kN} \quad \text{vyhovuje} \quad 84.48\%$$

4.2.4 Posouzení ocelové desky

Podle ČSN-EN 1993-1-1 a ČSN-EN 1993-1-8.

1. Posouzení desky v otláčení (má menší pevnost než spojovací prostředky)

materiál desky a příslušné pevnosti

ocel S235

$$f_y \quad 235 \text{ MPa}$$

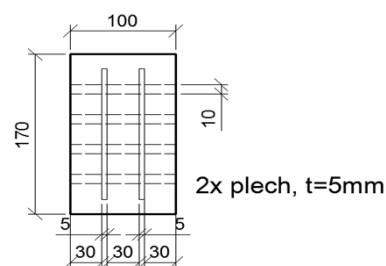
$$f_u \quad 360 \text{ MPa}$$

průřezové charakteristiky desky

$$h \quad 130 \text{ mm}$$

$$t \quad 5 \text{ mm}$$

$$A = h * t \quad 650 \text{ mm}^2$$



velikost otvorů v desce

$$d_0 \quad 10 \text{ mm}$$

únosnost v otláčení

$$\gamma_{M2} \quad 1.25$$

1) ve směru zatížení

pro spojovací prostředky na konci

$$\alpha_d = e_1/3d_0 = 20 / (3 * 10) = 0.67$$

pro vnitřní spojovací prostředky

$$\alpha_d = p_1/3d_0 - 1/4 = 50 / (3 * 10) = 1.42$$

2) kolmo na směr zatížení

spojovací prostředky u okraje

$$k_1 = \min(2.8 * e_2/d_0 - 1.7; 2.5) = \min(2.8 * 20/10 - 1.7; 2.5) = 2.50$$

pro vnitřní spojovací prostředky

$$k_1 = \min(1.4 * p_2/d_0 - 1.7; 2.5) = \min(1.4 * 30/10 - 1.7; 2.5) = 2.5$$

$$\alpha_b = \min(\alpha_d; f_{ub}/f_u; 1) = \min(0.67; 600/360; 1) = 0.67$$

$$F_{b,Rd} = k_1 * a_b * f_u * d * t / \gamma_{M2} = F_{b,Rd} = 2.5 * 0.67 * 360 * 10 * 5 / 1.25 = 24\,000 \text{ N}$$

posouzení na únosnost v otláčení

Posudek se provádí se silou neredukovanou počtem stříhů.

$F_{b,Rd} > F/2$	24.00	>	6.99 kN	vyhovuje	29.13%
2 ocelové desky					

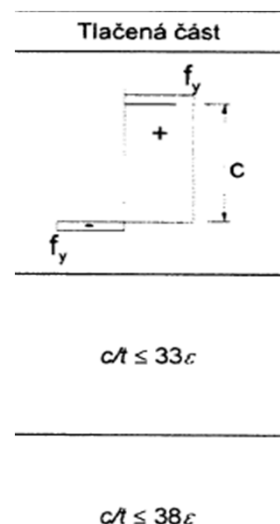
2. Posouzení na přenos vnitřních sil

N_{Ed}	16.05 kN	(tlak)
$V_{z,Ed}$	6.60 kN	
$M_{y,Ed}$	6.31 kNm	

zatřídění průřezu

zatřídění je pro tlak

$c = h$	130 mm
t	5 mm
c/t	26
$\epsilon = (235/f_y)^{0.5}$	1.00



třída 1: $c/t < 33\epsilon$	26	<	33.00	vyhovuje
-----------------------------	----	---	-------	----------

Tlak

$$N_{c,Rd} = 2 * A * f_y / \gamma_{M0} = 2 * 650 * 235 / 1.00 = 305\,500 \text{ N} \quad 2 \text{ ocelové desky}$$

$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 16.05 / 305.50 = 0.05 < 1.0$	vyhovuje	5.25%
---	----------	-------

Ohybový moment

statický moment poloviny průřezu k těžišťové ose y

$$S_y(A/2) = A/2 * z_c = 700 / 2 * 32.5 = 10\,562.5 \text{ mm}^3$$

$$z_c = h/4 = 130 / 4 = 32.5 \text{ mm}$$

plastický průřezový modul

$$W_{pl} = 2 * 2 * S_y(A/2) = 2 * 2 * 10\,562.5 = 42\,250 \text{ mm}^3 \quad 2 \text{ ocelové desky}$$

posouzení

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl} * f_y / \gamma_{M0} = 42\,250 * 235 / 1.00 = 9\,928\,750 \text{ Nmm}$$

$$M_{y,Ed} < M_{c,Rd} \quad \quad \quad \mathbf{6.31} \quad < \quad \quad \mathbf{9.9 \text{ kNm}} \quad \quad \text{vyhovuje} \quad \quad 63.52\%$$

Smyk

smyková plocha

$$A_v = 2 * A = 2 * 650 = 1\,300 \text{ mm}^2$$

2 ocelové desky

posouzení

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_y}{\gamma_{M0} * \sqrt{3}} = \frac{1\,300 * 235}{1.00 * \sqrt{3}} = 176\,381 \text{ N}$$

$$V_{z,Ed} < V_{pl,Rd} \quad \quad \quad \mathbf{6.60} \quad < \quad \quad \mathbf{176.38 \text{ kN}} \quad \quad \text{vyhovuje} \quad \quad 3.74\%$$

Méně než 50%, neposuzuje se kombinace s ohybem.

4.3 Připojení podélníku na příčník

Přípoj se provede s pomocí ocelové patky.

Posouzení je provedeno pro spoj v podélníku a pro spoj v příčníku.

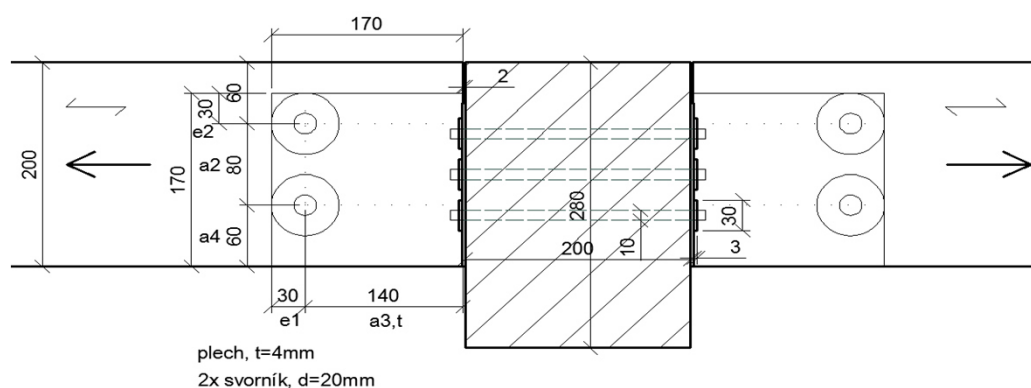
Pro tento typ spoje bývají problematická příčná tahová namáhání. Pokud ale výška připojované části vzhledem k připojovanému nosníku je 70% nejsou tato napětí kritická.

4.3.1 Návrh spoje v podélníku

Patka se připojí k podélníku svorníky.

4.3.1.1 Schéma a vnitřní síly

Schéma spoje

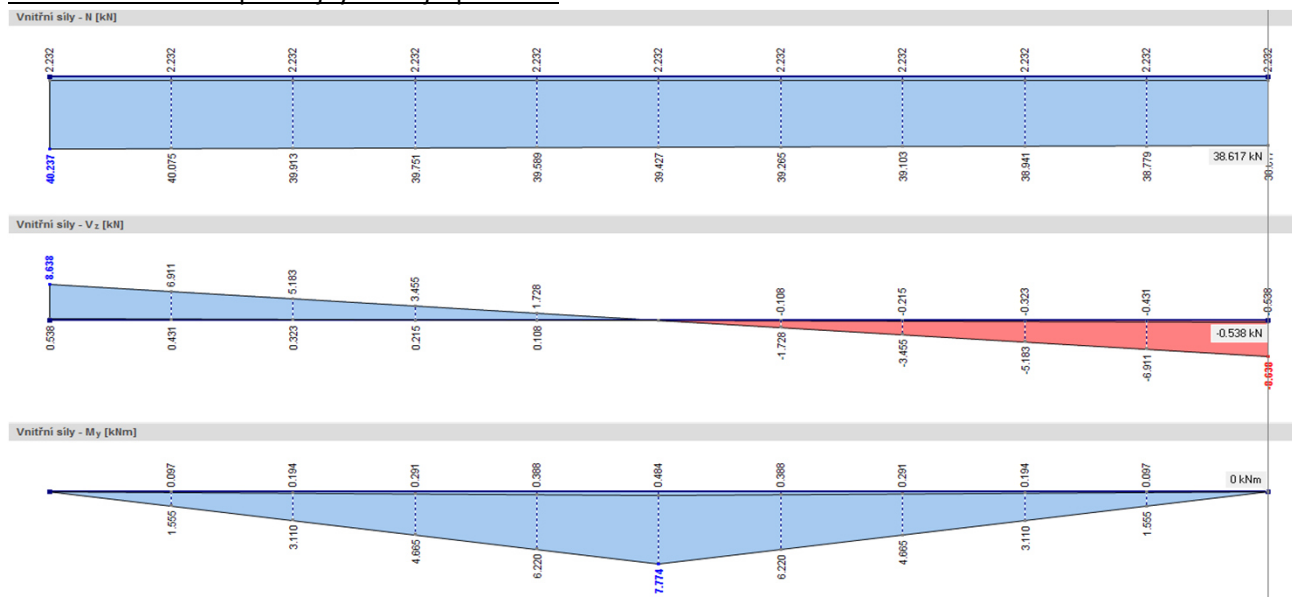


Oslabení průřezu

h	200 mm	b	120 mm
d	20 mm		
n	2	$A_{net} = h_{net} * b$	19200 mm ²
$h_{net} = h - d * n$	160 mm		

Návrhové vnitřní síly v místě spoje

obálka vnitřních sil pro nejvytíženější podélník



N_{Ed}	40.24 kN	(tah)
$V_{z,Ed}$	8.64 kN	
$M_{y,Ed}$	0.00 kNm	

4.3.1.2 Zatížení a geometrie spoje

Zatížení

stanovení zatížení z normálové a posouvací síly

$$F_{v,Ed} = \sqrt{N_{Ed}^2 + V_{z,Ed}^2} = \sqrt{40.24^2 + 8.64^2} = 41.15 \text{ kN}$$

úhel mezi silou a směrem vláken

$$\alpha = \arctg(V_{z,Ed} / N_{Ed}) = \arctg(8.64 / 40.24) = 12.12^\circ$$

Geometrie spoje

průměr svorníku

d 20 mm

tabulka minimálních roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro svorníky

Rozteče a vzdálenosti od okrajů/konců	Úhel	Min. rozteče nebo vzd. od okrajů/konců	
a_1 (rovnoběžně s vlákny)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4 + \cos \alpha) \cdot d$	100 mm
a_2 (kolmo na vlákna)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$4 \cdot d$	80 mm
$a_{3,t}$ (zatížený konec)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7 \cdot d; 80 \text{ mm})$	140 mm
$a_{4,t}$ (zatížený okraj)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max((2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 3 \cdot d)$	60 mm
$a_{4,c}$ (nezatížený okraj)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 \cdot d$	60 mm

tabulka nejmenších roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro plech

rozměry desky

h	170 mm
t	4 mm

velikost otvoru

d_0 21 mm

	nejméně	
e_1 (vzdálenost od konce)	$1.2 \cdot d_0$	25.2 mm
e_2 (vzdálenost od okraje)	$1.2 \cdot d_0$	25.2 mm
p_1 (rozteč v podélném směru)	$2.2 \cdot d_0$	46.2 mm
p_2 (rozteč v kolmém směru)	$2.4 \cdot d_0$	50.4 mm

použité rozteče nebo vzdálenosti od okrajů/konců

a_2 (kolmo na vlákna)	80 mm	e_1	30 mm
$a_{3,t}$ (zatížený konec)	140 mm	e_2	30 mm
a_4	60 mm	p_2	80 mm

napětí na mezi kluzu a pevnost v tahu svorníku třídy 6.8

f_y	480 N/mm ²
f_u	600 N/mm ²

4.3.1.3 Posouzení spojovacích prostředků

Podle ČSN-EN 1995-1-1.

Spoj dřevo - dřevo

hustota dřeva

ρ_k	350 kg/m ³	C24
----------	-----------------------	-----

charakteristická hodnota plastického momentu únosnosti $M_{y,Rk}$

$$M_{y,Rk} = 0.3 * f_{u,k} * d^{2.6} = 0.3 * 600 * 20^{2.6} = 434\,461 \text{ Nmm}$$

charakteristická pevnost v otláčení ve dřevu $f_{h,k}$

$$f_{h,0,k} = 0.082 * (1 - 0.01 * d) * \rho_k = 0.082 * (1 - 0.01 * 20) * 350 = 22.96 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} * \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{22.96}{1.65 * \sin^2 12.12 + \cos^2 12.12} = 22.32 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{90} = 1.35 + 0.015 * d = 1.35 + 0.015 * 20 = 1.65$$

pro dřevo jehličnatých dřevin

počet spojovacích prostředků pro výpočet

počet v řadě

n	1
-----	---

počet řad

n_r	2
-------	---

celkový počet spojovacích prostředků

$n_{\text{celk}} = n * n_r$	2
-----------------------------	---

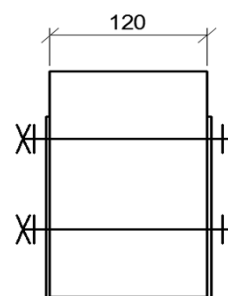
Spoj ocel - dřevo

nejmenší tloušťka dřevěného prvku

t_2	120 mm
-------	--------

charakteristická únosnost na vytažení spojovacího prostředku

$F_{ax,Rk}$	0 kN
-------------	------



síla je neznámá

charakteristická únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku

pro tenkou desku

0.5d 10 mm tenká deska: t < 0.5d
t 4 mm

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \frac{0.5 * f_{h,2,k} * t_2 * d}{1.15 * \sqrt{2 * M_{y,Rk} * f_{h,2,k} * d}} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \right\}$$



$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \frac{0.5 * 22.32 * 120 * 20}{1.15 * \sqrt{2 * 434461 * 22.32 * 20}} + \frac{0}{4} \right\} = \min \left\{ \frac{26785 N}{22649 N} \right\} = 22649 N$$

návrhová únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku

γ_M 1.3 rostlé dřevo C24
 k_{mod} 0.7 třída provozu 3

$$F_{v,Rd,1} = F_{v,Rk} * k_{mod} / \gamma_M = 22649 * 0.7 / 1.3 = 12196 N$$

Návrhová únosnost spoje

počet spojovacích prostředků

n_{celk} 2

počet rovin stříhu

n_s 2

návrhová únosnost spoje

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd,1} * n_c * n_s = 12196 * 2 * 2 = 48783 N$$

Posouzení spoje na stříh

$F_{v,Ed}$ 41.15 kN

$F_{v,Rd} > F_{v,Ed}$ 48.78 > 41.15 kN vyhovuje 84.36%

4.3.1.4 Posouzení ocelové desky

Podle ČSN-EN 1993-1-1 a ČSN-EN 1993-1-8.

1. Posouzení desky v otláčení (má menší pevnost než spojovací prostředky)

materiál desky a příslušné pevnosti

ocel S235

f_y 235 MPa

f_u 360 MPa

průřezové charakteristiky desky

h 170 mm

t 4 mm

$$A = h * t = 170 * 4 = 680 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{net}} = (h - n_f * d_0) * t = (170 - 2 * 21) * 4 = 512 \text{ mm}^2$$

velikost otvorů v desce

d_0 21 mm

únosnost v otláčení

γ_{M2} 1.25

1) ve směru zatížení

pro spojovací prostředky na konci

$$\alpha_d = e_1 / 3d_0 = 30 / (3 * 21) = 0.48$$

2) kolmo na směr zatížení

spojovací prostředky u okraje

$$k_1 = \min(2.8 * e_2 / d_0 - 1.7; 2.5) = \min(2.8 * 30 / 21 - 1.7; 2.5) = 2.30$$

pro vnitřní spojovací prostředky

$$k_1 = \min(1.4 * p_2 / d_0 - 1.7; 2.5) = \min(1.4 * 80 / 21 - 1.7; 2.5) = 2.50$$

$$\alpha_b = \min(\alpha_d; f_{ub} / f_u; 1) = \min(0.48; 600 / 360; 1) = 0.48$$

$$F_{b,Rd} = k_1 * a_b * f_u * d * t / \gamma_{M2} = 2.3 * 0.48 * 360 * 20 * 4 / 1.25 = 25\,234 \text{ N}$$

posouzení na únosnost v otláčení

$$F_1 = F_{v,Ed} / 2 \quad 20.58 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} > F_1 \quad 25.23 > 20.58 \text{ kN} \quad \text{vyhovuje} \quad 81.54\%$$

Deska je na obou stranách a proto se bere $F_{v,Ed}/2$.

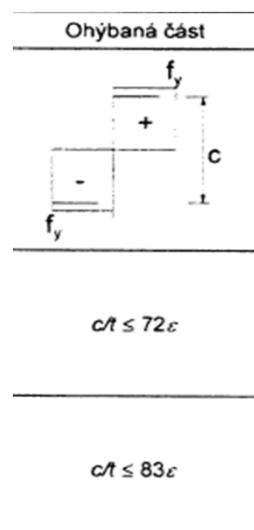
2. Posouzení na přenos vnitřních sil

N_{Ed}	40.24 kN	(tah)
$V_{z,Ed}$	8.64 kN	

zatřídění průřezu

není namáhání tlakem a zatřídění je proto pro ohyb

$c = h$	170 mm
t	4 mm
c/t	42.50
$\epsilon = (235/f_y)^{0.5}$	1.00



třída 1: $c/t < 72\epsilon$ 42.50 < 72.00 vyhovuje

Tah

$$N_{u,Rd} = 2 * 0.9 * A_{net} * f_u / \gamma_{M0} = 2 * 0.9 * 512 * 360 / 1.00 = 331\,776 \text{ N}$$

2 ocelové plechy

$$N_{Ed}/N_{u,Rd} = 40\,240 / 331\,776 = 0.12 < 1.00$$

vyhovuje 12.13%

Smyk

smyková plocha

$$A_v = 2 * A = 2 * 680 = 1\,360 \text{ mm}^2$$

2 ocelové plechy

posouzení

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_y}{\gamma_{M0} * \sqrt{3}} = \frac{1\,360 * 235}{1.00 * \sqrt{3}} = 184\,521 \text{ N}$$

$V_{z,Ed} < V_{pl,Rd}$ 8.64 < 184.52 kN vyhovuje 4.68%

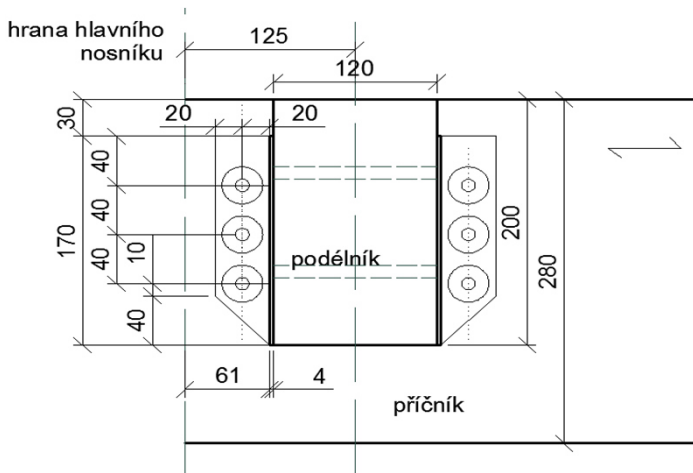
4.3.2 Návrh spoje v příčnici

Z důvodu nedostatku místa pro přípoj podélníku na příčník a ve stejném místě pro přípoj příčníku na hlavní nosník se provede přípoj svorníkový.

Svorníky jsou víceřizné, protože na okrajích jsou ocelové desky pro přípoj podélníků a uprostřed příčníku deska pro přípoj k hlavnímu nosníku.

4.3.2.1 Schéma a vnitřní síly

Schéma spoje



Oslabení průřezu - podélník

h	200 mm
d	20 mm
n	2
$h_{net} = h - d * n$	160 mm

b	120 mm
---	--------

$$A_{net} = h_{net} * b \quad 19200 \text{ mm}^2$$

Oslabení průřezu - příčník

h	280 mm
d (kolík)	10 mm
n kolíků	3
$h_{net} = h - d * n$	250 mm

b	200 mm
---	--------

t (deska)	5 mm
-----------	------

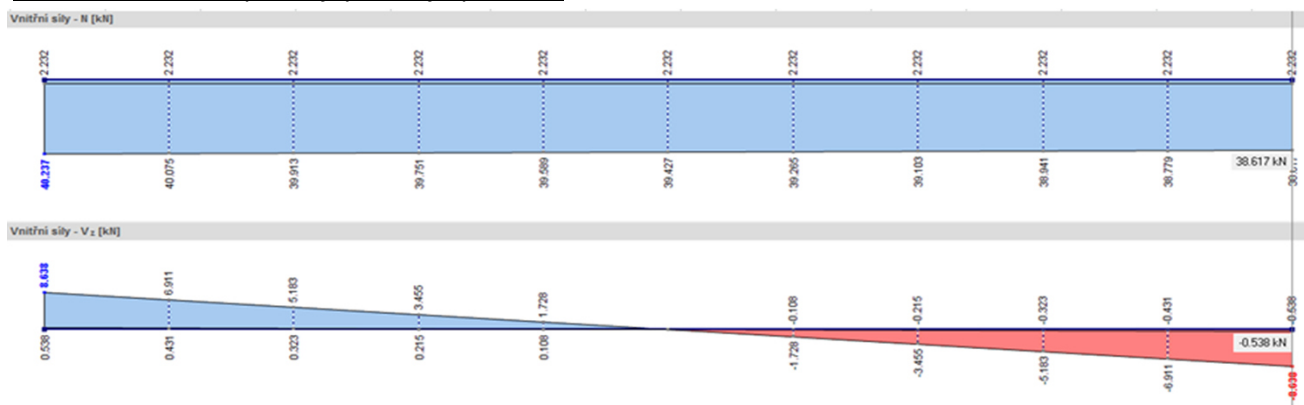
n desek	1
---------	---

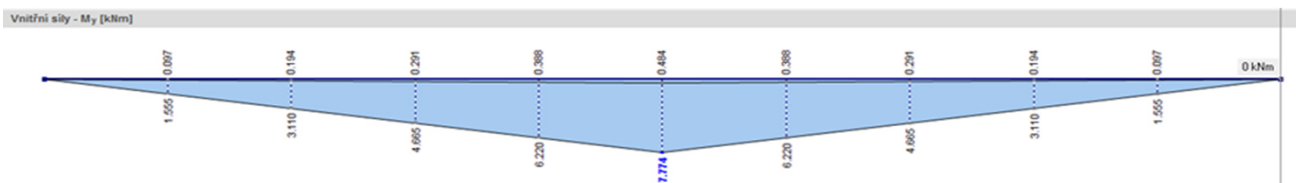
$b_{net} = b - t * n$	195 mm
-----------------------	--------

$$A_{net} = h_{net} * b_{net} \quad 48750 \text{ mm}^2$$

Návrhové vnitřní síly v místě spoje

obálka vnitřních sil pro nejvytíženější podélník





N_{Ed}	40.24 kN	(tah)
$V_{z,Ed}$	8.64 kN	
e	0.1 m	(mimostřednost = polovina šířky příčnicku)
$M_{y,Ed} = V_{z,Ed} * e$	0.86 kNm	(kladný)

4.3.2.2 Zatížení a geometrie spoje

Zatížení

největší tahové zatížení od momentu

$$z_1 = 40 \text{ mm}$$

$$z_{max} = 120 \text{ mm}$$

$$\sum z_i^2 = 40^2 + 80^2 + 120^2 = 22\,400 \text{ mm}^2$$

$$F_{ax,max,c} = M_{y,Ed} * z_{max} / \sum z_i^2 = 0.86 * 10^6 * 120 / 22\,400 = 4\,628 \text{ N}$$

dva svorníky na jedné straně

$$F_{ax,max} = F_{ax,max,c} / n = 4\,628 / 2 = 2\,314 \text{ N}$$

$$n = 2$$

jeden svorník na jedné straně

$$F_{ax,max} = 4628 \text{ N}$$

jeden svorník (2 podélníky z každé strany vyvozují tah)

osové namáhání na jeden svorník od normálové síly

$$n_{celk} = 6$$

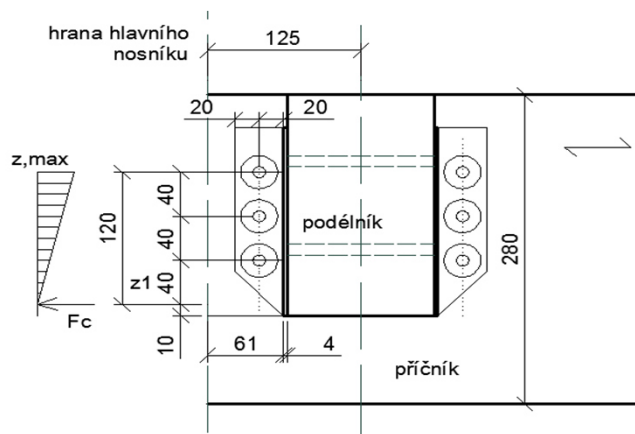
$$F_N = 2N_{ed} / n_{celk} = 2 * 40.24 / 6 = 13.41 \text{ kN}$$

největší tahové namáhání

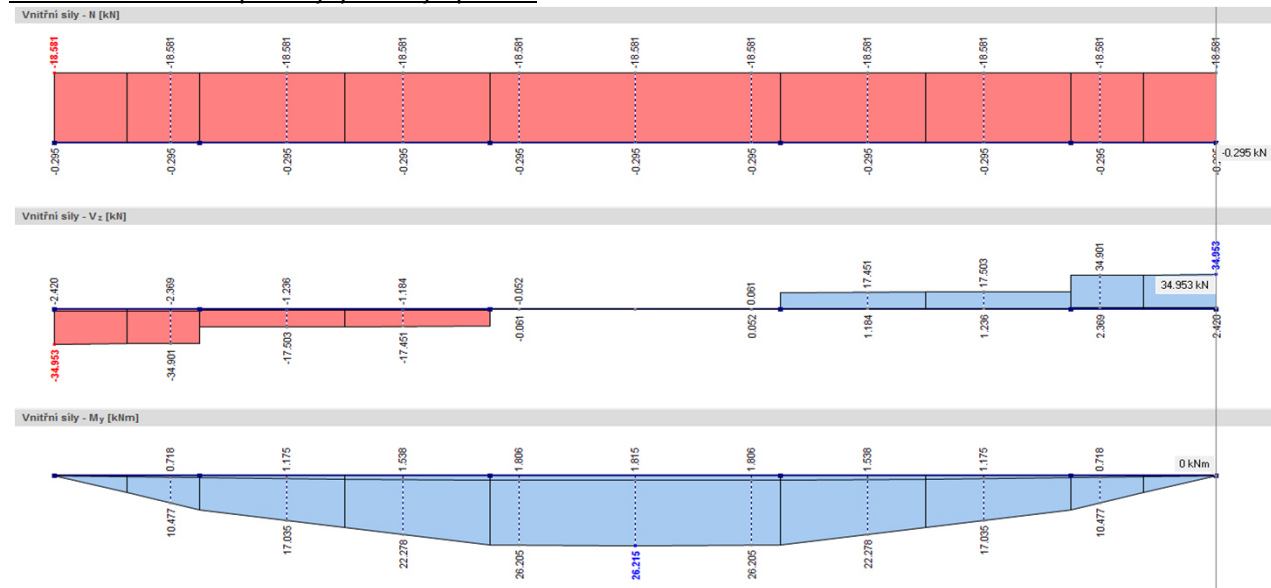
$$F_{ax,Ed} = F_{ax,max} + F_N = 4.628 + 13.41 = 18.04 \text{ kN}$$

úhel mezi silou a směrem vláken

$$\alpha = 90.00^\circ$$



obálka vnitřních sil pro nejvytíženější příčník



N_{Ed} 18.58 kN (tlak)
 $V_{z,Ed}$ 34.95 kN
 $M_{y,Ed}$ 0.00 kNm

stanovení zatížení z normálové a posuvací síly

$$F_{v,Ed} = \sqrt{N_{Ed}^2 + V_{z,Ed}^2} = \sqrt{18.58^2 + 34.95^2} = 39.58 \text{ kN}$$

pro jeden svorník:

$$F_{v,Ed1} = F_{v,Ed} / n = 39.58 / 6 = 6.60 \text{ kN}$$

n

6

úhel mezi silou a směrem vláken

$$\alpha = \arctg(V_{z,Ed} / N_{Ed}) = \arctg(34.95 / 18.58) = 62.00^\circ$$

Geometrie spoje

průměr svorníku

d 10 mm

tabulka minimálních roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro svorníky

Rozteče a vzdálenosti od okrajů/konců	Úhel	Min. rozteče nebo vzd. od okrajů/konců	
a_1 (rovnoběžně s vlákny)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4 + \cos \alpha) \cdot d$	45 mm
a_2 (kolmo na vlákna)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$4 \cdot d$	40 mm
$a_{3,t}$ (zatížený konec)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7 \cdot d; 80 \text{ mm})$	80 mm
$a_{3,c}$ (nezatížený konec)	$90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$	$\max((1 + 6 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 4 \cdot d)$	63 mm
	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	$4 \cdot d$	40 mm
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$\max((1 + 6 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 4 \cdot d)$	63 mm
$a_{4,t}$ (zatížený okraj)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max((2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 3 \cdot d)$	38 mm
$a_{4,c}$ (nezatížený okraj)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 \cdot d$	30 mm

tabulka nejmenších a největších roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro plech

rozměry desky

h	240 mm
t	5 mm

velikost otvoru

d_0	11 mm
-------	-------

nejméně

e_1 (vzdálenost od konce)	$1.2 * d_0$	13.2 mm
e_2 (vzdálenost od okraje)	$1.2 * d_0$	13.2 mm
p_1 (rozteč v podélném směru)	$2.2 * d_0$	24.2 mm
p_2 (rozteč v kolmém směru)	$2.4 * d_0$	26.4 mm

napětí na mezi kluzu a pevnost v tahu svorníku třídy 6.8

f_y	480 N/mm ²
f_u	600 N/mm ²

4.3.2.3 Posouzení spojovacích prostředků

Podle ČSN-EN 1995-1-1.

Spoj dřevo - dřevo

hustota dřeva

ρ_k	350 kg/m ³	C24
----------	-----------------------	-----

charakteristická hodnota plastického momentu únosnosti $M_{y,Rk}$

$$M_{y,Rk} = 0.3 * f_{u,k} * d^{2.6} = 0.3 * 600 * 10^{2.6} = 71\,659 \text{ Nmm}$$

charakteristická pevnost v otlačení ve dřevu $f_{h,k}$

$$f_{h,0,k} = 0.082 * (1 - 0.01 * d) * \rho_k = 0.082 * (1 - 0.01 * 10) * 350 = 25.83 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} * \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{25.83}{1.50 * \sin^2 62 + \cos^2 62} = 18.58 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{90} = 1.35 + 0.015 * d = 1.35 + 0.015 * 10 = 1.50$$

pro dřevo jehličnatých dřevin

počet spojovacích prostředků pro výpočet

počet v řadě

$n = 2$

počet řad

$n_{\text{ř}} = 3$

celkový počet spojovacích prostředků

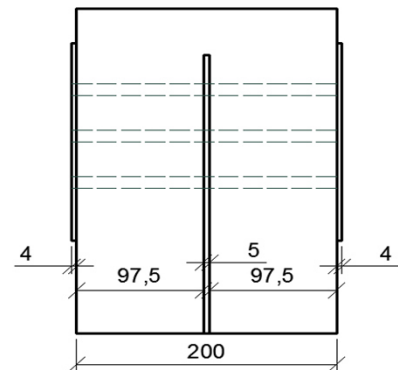
$n_{\text{celk}} = n * n_{\text{ř}} = 6$

Spoj ocel - dřevo

tloušťky dřevěného prvku

$t_1 = 97,5 \text{ mm}$

$t_2 = 200 \text{ mm}$



charakteristická únosnost na vytažení spojovacího prostředku

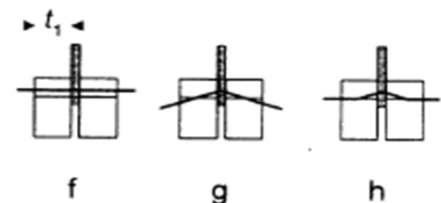
$F_{\text{ax,Rk}} = 0 \text{ kN}$

síla je neznámá

charakteristická únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku

a) pro desku uprostřed

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ f_{h,1,k} * t_1 * d * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} * d * t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{\text{ax,Rk}}}{4}, \frac{2.3 * \sqrt{M_{y,Rk} * f_{h,1,k} * d} + \frac{F_{\text{ax,Rk}}}{4}}{2.3 * \sqrt{M_{y,Rk} * f_{h,1,k} * d} + \frac{F_{\text{ax,Rk}}}{4}} \right\}$$

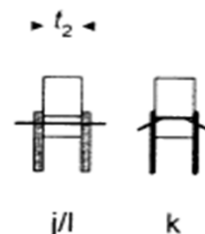


$$F_{v,Rk} = \min \left\{ 18.58 * 97.5 * 10 * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * 71\,659}{18.58 * 10 * 97.5^2}} - 1 \right] + \frac{0}{4}, \frac{2.3 * \sqrt{71\,659 * 18.58 * 10} + \frac{0}{4}}{2.3 * \sqrt{71\,659 * 18.58 * 10} + \frac{0}{4}} \right\} = \min \left\{ \begin{matrix} 18\,120 \text{ N} \\ 8\,525 \text{ N} \\ 8\,394 \text{ N} \end{matrix} \right\} = 8\,394 \text{ N}$$

b) pro desku na kraji

($t = 4 \text{ mm}$ - tenká deska)

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \frac{0.5 * f_{h,2,k} * t_2 * d}{1.15 * \sqrt{2 * M_{y,Rk} * f_{h,2,k} * d} + \frac{F_{\text{ax,Rk}}}{4}}, \frac{0.5 * f_{h,2,k} * t_2 * d}{1.15 * \sqrt{2 * M_{y,Rk} * f_{h,2,k} * d} + \frac{F_{\text{ax,Rk}}}{4}} \right\}$$



$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \frac{0.5 * 18.58 * 200 * 10}{1.15 * \sqrt{2 * 71\,659 * 18.58 * 10} + \frac{0}{4}}, \frac{0.5 * 18.58 * 200 * 10}{1.15 * \sqrt{2 * 71\,659 * 18.58 * 10} + \frac{0}{4}} \right\} = \min \left\{ \begin{matrix} 18\,585 \text{ N} \\ 5\,935 \text{ N} \end{matrix} \right\} = 5\,935 \text{ N}$$

$F_{v,Rk} = \min$ ze všech případů

5 935 N

návrhová únosnost pro jeden střih jednoho spojovacího prostředku

γ_M	1.3	rostlé dřevo C24
k_{mod}	0.7	třída provozu 3

$$F_{v,Rd,1} = F_{v,Rk} * k_{mod} / \gamma_M = 5\,935 * 0.7 / 1.3 = 3\,196 \text{ N}$$

Návrhová únosnost spoje

počet spojovacích prostředků

n_{celk}	6
------------	---

počet rovin střihu

n_s	4	2 krajní desky a jedna prostřední deska (2 + 2 střihy)
-------	---	---

návrhová únosnost spoje

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd,1} * n_{celk} * n_s = 3\,196 * 6 * 4 = 76\,700 \text{ N}$$

Posouzení spoje na střih

$F_{v,Ed}$	39.58 kN
------------	----------

$F_{v,Rd} > F_{v,Ed}$	76.70	>	39.58 kN	vyhovuje	51.61%
-----------------------	-------	---	----------	----------	--------

Posouzení na tah

průměr svorníku

d	10 mm
-----	-------

plocha dříku svorníku

$$A = (\pi * d^2) / 4 = 78.54 \text{ mm}^2$$

návrhová únosnost na vytažení

$$F_{ax,Rd} = A * f_y / \gamma_{M0} = 78.54 * 480 / 1.00 = 37\,699 \text{ N}$$

posouzení na vytažení

$F_{ax,Ed}$	18.04 kN
-------------	----------

$F_{ax,Rd} > F_{ax,Ed}$	37.70	>	18.04 kN	vyhovuje	47.85%
-------------------------	-------	---	----------	----------	--------

Kombinace smykové a tahové únosnosti

$F_{ax,Ed}$	18.04	kN
$F_{ax,Rd}$	37.70	kN
$F_{v,Ed1}$	6.60	kN
$F_{v,Rd1}$	12.78	kN

$$\left(\frac{Fax,Ed}{Fax,Rd}\right)^2 + \left(\frac{Fv,Ed}{Fv,Rd}\right)^2 \leq 1$$

$$0.23 + 0.27 < 1$$

$$0.50 < 1 \quad \text{vyhovuje} \quad 49.53\%$$

4.3.2.4 Posouzení ocelové desky

Podle ČSN-EN 1993-1-1 a ČSN-EN 1993-1-8.

1. Posouzení desky v otláčení (má menší pevnost než spojovací prostředky)

materiál desky a příslušné pevnosti

ocel S235

f_y	235 MPa
f_u	360 MPa

průřezové charakteristiky desky

h	240 mm
t	5 mm

$$A = h * t = 240 * 5 = 1\,200 \text{ mm}^2$$

velikost otvorů v desce

d_0	11 mm
-------	-------

únosnost v otláčení

γ_{M2}	1.25
---------------	------

1) ve směru zatížení

pro spojovací prostředky na konci

$$\alpha_d = e_1/3d_0 = 30 / (3 * 11) = 0.91$$

pro vnitřní spojovací prostředky

$$\alpha_d = p_1/3d_0 - 1/4 = 166 / (3 * 11) - 1/4 = 4.78$$

2) kolmo na směr zatížení

spojovací prostředky u okraje

$$k_1 = \min(2.8 * e_2/d_0 - 1.7; 2.5) = \min(2.8 * 30/11 - 1.7; 2.5) = 2.5$$

pro vnitřní spojovací prostředky

$$k_1 = \min(1.4 * p_2/d_0 - 1.7; 2.5) = \min(1.4 * 40/11 - 1.7; 2.5) = 2.5$$

$$\alpha_b = \min(\alpha_d; f_{ub}/f_u; 1) = \min(0.91; 600/360; 1) = 0.91$$

$$F_{b,Rd} = k_1 * a_b * f_u * d * t / \gamma_{M2} = 2.5 * 0.91 * 360 * 10 * 5 / 1.25 = 32\,727 \text{ N}$$

posouzení na únosnost v otláčení

Posudek se provádí se silou neredukovanou počtem stříhů.

$F_{v,Ed1}$			6.60 kN		
$F_{b,Rd} > F_{v,Ed1}$	32.73	>	6.60 kN	vyhovuje	20.16%

2. Posouzení na přenos vnitřních sil

N_{Ed} 18.58 kN (tlak)

$V_{z,Ed}$ 34.95 kN

zatřídění průřezu

zatřídění je pro tlak

$c = h$	240 mm
t	5 mm
c/t	48.00
$\epsilon = (235/f_y)^{0.5}$	1.00

třída 3: $c/t < 42\epsilon$ 48.00 > 42.00 deska je třídy 4

$$A_{eff} = 0.5A = 0.5 * 1\,200 = 600 \text{ mm}^2 \quad \text{pouze odhad na straně bezpečné}$$

Tlak

$$N_{c,Rd} = A_{eff} * f_y / \gamma_{M0} = 600 * 235 / 1.00 = 141\,000 \text{ N}$$

$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 18.58 / 141 = 0.13 < 1.0$ vyhovuje 13.18%

Smyk

smyková plocha

$$A_v = A_{\text{eff}} = 600 \text{ mm}^2$$

posouzení

$$V_{\text{pl,Rd}} = \frac{A_v * f_y}{\gamma_{\text{M0}} * \sqrt{3}} = \frac{600 * 235}{1.00 * \sqrt{3}} = 81\,406 \text{ N}$$

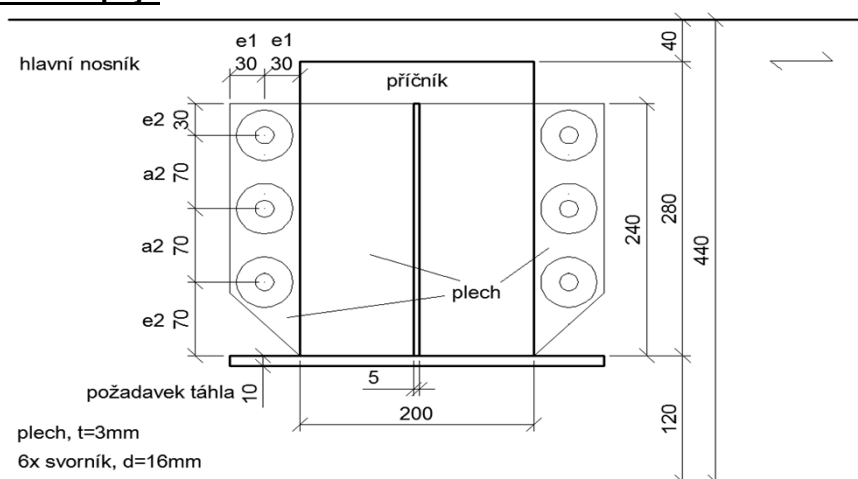
$V_{\text{z,Ed}} < V_{\text{pl,Rd}}$	34.95	<	81.41 kN	vyhovuje	42.94%
--------------------------------------	-------	---	----------	----------	--------

4.4 Připojení příčnicku na spodní pás

Z důvodu připojení táhla ke spodní straně ocelové desky příčnicku jsou spojovací prostředky namáhány na velkou tahovou sílu. Vychází velké množství hřebíků, z tohoto důvodu je spoj proveden jako svorníkový. Svorníky jsou osově a příčně zatíženy.

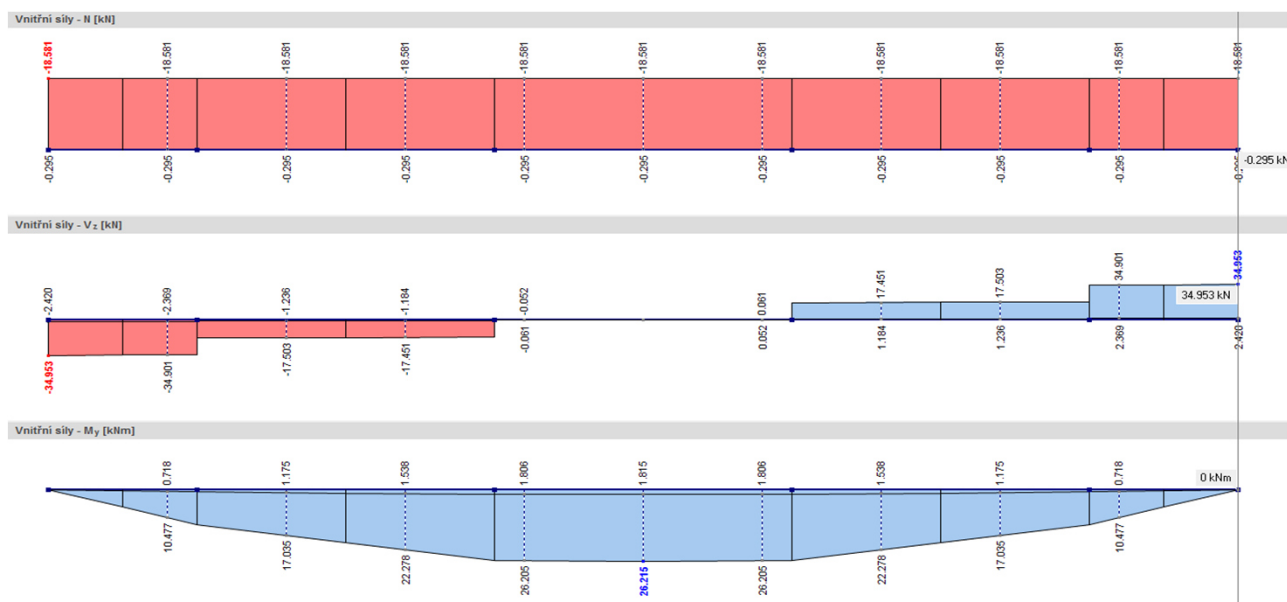
4.4.1 Schéma a vnitřní síly

Schéma spoje



Návrhové vnitřní síly v místě spoje

obálka vnitřních sil pro nejvytíženější příčník



N_{Ed}	18.58 kN	(tlak)
$V_{z,Ed}$	34.95 kN	
e	0.11 m	(mimostřednost = polovina šířky hlavního nosníku)
$M_{y,Ed} = V_{z,Ed} * e$	3.50 kNm	(kladný)

4.4.2 Zatížení a geometrie spoje

Zatížení

největší tahové zatížení od momentu

$$z_1 = 60 \text{ mm}$$

$$z_{\max} = 200 \text{ mm}$$

$$\sum z_i^2 = 60^2 + 130^2 + 200^2 = 60\,500 \text{ mm}^2$$

$$F_{ax,\max,c} = M_{y,Ed} * z_{\max} / \sum z_i^2 = 3.5 * 10^6 * 200 / 60\,500 = 11\,555 \text{ N}$$

pro všechny v řadě

$$F_{ax,\max} = F_{ax,\max,c} / n = 11\,555 / 2 = 5\,777 \text{ N}$$

pro jeden svorník

$$n = 2$$

osové namáhání na jeden svorník od normálové síly

$$n_{\text{celk}} = 6$$

$$F_{N1} = N_{ed} / n_{\text{celk}} = 18.58 / 6 = 3.10 \text{ kN}$$

Příčník je tlačný.

osové namáhání na jeden svorník od normálové síly táhla

$$N_{ed,\max} = 30.44 \text{ kN}$$

$$n_{\text{celk}} = 6$$

$$F_{N2} = N_{ed} / n_{\text{celk}} = 30.44 / 6 = 5.07 \text{ N}$$

Táhlo je tažené.

největší tahové namáhání

$$F_{ax,Ed} = F_{ax,\max} + F_{N2} = 5.777 + 5.07 = 10.85 \text{ kN}$$

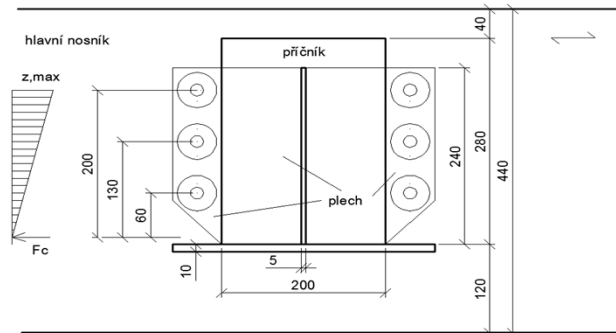
namáhání na jeden svorník od posuvací síly

$$n_{\text{celk}} = 6$$

$$F_{v,Ed} = V_{z,Ed} / n_{\text{celk}} = 34.95 / 6 = 5.83 \text{ kN}$$

úhel mezi silou (osová nebo posuvací) a směrem vláken

$$\alpha = 90.00^\circ$$



Geometrie spoje

průměr svorníku

d 16 mm

tabulka minimálních roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro svorníky

<i>Rozteče a vzdálenosti od okrajů/konců</i>	<i>Úhel</i>	<i>Min.rozteče nebo vzd. od okrajů/konců</i>	
a_1 (rovnoběžně s vlákny)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4 + \cos \alpha) \cdot d$	64 mm
a_2 (kolmo na vlákna)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$4 \cdot d$	64 mm
$a_{4,t}$ (zatížený okraj)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max((2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 3 \cdot d)$	64 mm
$a_{4,c}$ (nezatížený okraj)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 \cdot d$	48 mm

tabulka nejmenších a největších roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro plech

rozměry desky

h	240 mm
t	3 mm

velikost otvoru

d_0 17 mm

nejméně

e_1 (vzdálenost od konce)	$1.2 \cdot d_0$	20.4 mm
e_2 (vzdálenost od okraje)	$1.2 \cdot d_0$	20.4 mm
p_1 (rozteč v podélném směru)	$2.2 \cdot d_0$	37.4 mm
p_2 (rozteč v kolmém směru)	$2.4 \cdot d_0$	40.8 mm

použité rozteče nebo vzdálenosti od okrajů/konců

a_1 (rovnoběžně s vlákny)	260 mm	e_1	30 mm
a_2 (kolmo na vlákna)	70 mm	e_2	30 mm
$a_{4,t}$ (zatížený okraj)	70 mm	p_1	260 mm
$a_{4,c}$ (nezatížený okraj)	50 mm	p_2	70 mm

napětí na mezi kluzu a pevnost v tahu svorníku třídy 6.8

f_y	480 N/mm ²
f_u	600 N/mm ²

4.4.3 Posouzení spojovacích prostředků

Podle ČSN-EN 1995-1-1.

Spoj dřevo - dřevo

hustota dřeva

ρ_k	385 kg/m ³	GL-24h	dřevo spodního pásu
----------	-----------------------	--------	---------------------

charakteristická hodnota plastického momentu únosnosti $M_{y,Rk}$

$$M_{y,Rk} = 0.3 * f_{u,k} * d^{2.6} = 0.3 * 600 * 16^{2.6} = 243\,212 \text{ Nmm}$$

charakteristická pevnost v otláčení ve dřevu $f_{h,k}$

$$f_{h,0,k} = 0.082 * (1 - 0.01 * d) * \rho_k = 0.082 * (1 - 0.01 * 16) * 385 = 26.52 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} * \sin^2\alpha + \cos^2\alpha} = \frac{26.52}{1.59 * \sin^2 90 + \cos^2 90} = 16.68 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{90} = 1.35 + 0.015 * d = 1.35 + 0.015 * 16 = 1.59$$

pro dřevo jehličnatých dřevin

počet spojovacích prostředků

počet v řadě

$$n = 2$$

počet řad

$$n_r = 3$$

celkový počet spojovacích prostředků

$$n_{\text{celk}} = n * n_r = 6$$

Spoj ocel - dřevo

nejmenší tloušťka dřevěného prvku

$$t_1 = 220 \text{ mm} \quad \text{šířka spodního pásu}$$

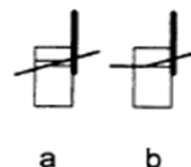
charakteristická únosnost na vytažení spojovacího prostředku

$$F_{ax,Rk} = 0 \text{ kN} \quad \text{síla je neznámá}$$

charakteristická únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku

a) pro tenkou desku

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \frac{0.4 * f_{h,k} * t_1 * d}{1.15 * \sqrt{2 * M_{y,Rk} * f_{h,k} * d}} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \right\}$$



$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \frac{0.4 * 16.68 * 220 * 16}{1.15 * \sqrt{2 * 243\,212 * 16.68 * 16}} + \frac{0}{4} \right\} = \min \left\{ \begin{matrix} 23\,483 \text{ N} \\ 13\,102 \text{ N} \end{matrix} \right\} = 13\,102 \text{ N}$$

$$\begin{matrix} 0.5d & 8 \text{ mm} & \text{tenká deska:} & t < 0.5d \\ t & 3 \text{ mm} & & \end{matrix}$$

návrhová únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku

γ_M	1.25	lepené lamelové dřevo
k_{mod}	0.7	třída provozu 3

$$F_{v,Rd,1} = F_{v,Rk} * k_{mod} / \gamma_M = 13\,102 * 0.7 / 1.25 = 7\,337 \text{ N}$$

Návrhová únosnost spoje

počet spojovacích prostředků

n_{celk}	6
------------	---

počet rovin stříhu

n_s	1
-------	---

návrhová únosnost spoje

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd,1} * n_c * n_s = 7\,337 * 6 * 1 = 44\,023 \text{ N}$$

Posouzení spoje na stříh

$V_{z,Ed}$	34.95 kN
------------	----------

$F_{v,Rd} > V_{z,Ed}$	44.02	>	34.95 kN	vyhovuje	79.40%
-----------------------	--------------	---	-----------------	----------	--------

Posouzení na tah

průměr svorníku

d	16 mm
-----	-------

plocha dřívku svorníku

$$A = \pi * d^2 / 4 = \pi * 16^2 / 4 = 201.06 \text{ mm}^2$$

návrhová únosnost na vytažení

$$F_{ax,Rd} = A * f_y / \gamma_{M0} = 201.06 * 480 / 1.00 = 96\,510 \text{ N}$$

posouzení na vytažení

$F_{ax,Ed}$	10.85 kN
-------------	----------

$F_{ax,Rd} > F_{ax,Ed}$	96.51	>	10.85 kN	vyhovuje	11.24%
-------------------------	--------------	---	-----------------	----------	--------

Kombinace smykové a tahové únosnosti

$F_{ax,Ed}$	10.85	kN
$F_{ax,Rd}$	96.51	kN
$F_{v,Ed}$	5.83	kN
$F_{v,Rd}$	7.34	kN

$$\left(\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 \leq 1$$

0.01	+	0.63	<	1		
		0.64	<	1	vyhovuje	64.30%

4.4.4 Posouzení ocelové desky

Podle ČSN-EN 1993-1-1 a ČSN-EN 1993-1-8.

1. Posouzení desky v otláčení (má menší pevnost než spojovací prostředky)

materiál desky a příslušné pevnosti

ocel S235

f_y	235 MPa
f_u	360 MPa

průřezové charakteristiky desky

h	240 mm
t	3 mm

$$A = h * t = 240 * 3 = 720 \text{ mm}^2$$

velikost otvorů v desce

d_0	17 mm
-------	-------

únosnost v otláčení

γ_{M2}	1.25
---------------	------

1) ve směru zatížení

pro spojovací prostředky na konci

$$\alpha_d = e_1/3d_0 = 30 / (3*17) = 0.59$$

pro vnitřní spojovací prostředky

$$\alpha_d = p_1/3d_0 - 1/4 = 260 / (3*17) - 1/4 = 4.85$$

2) kolmo na směr zatížení

spojovací prostředky u okraje

$$k_1 = \min(2.8 * e_2/d_0 - 1.7; 2.5) = \min(2.8 * 30/17 - 1.7; 2.5) = 2.50$$

pro vnitřní spojovací prostředky

$$k_1 = \min(1.4 * p_2/d_0 - 1.7; 2.5) = \min(1.4 * 70/17 - 1.7; 2.5) = 2.50$$

$$\alpha_b = \min(\alpha_d; f_{ub}/f_u; 1) = \min(0.59; 600/360; 1) = 0.59$$

$$F_{b,Rd} = k_1 * a_b * f_u * d * t / \gamma_{M2} = 2.50 * 0.59 * 360 * 16 * 3 / 1.25 = 20\,329 \text{ N}$$

posouzení na únosnost v otláčení

$F_{v,Ed}$			5.83 kN		
$F_{b,Rd} > F_{v,Ed}$	20.33	>	5.83 kN	vyhovuje	28.66%

2. Posouzení na přenos vnitřních sil

Normálová síla působí kolmo na plech a moment je téměř nulový.

$$V_{z,Ed} \quad 34.95 \text{ kN}$$

Smyk

smyková plocha

$$A_v = A = 720 \text{ mm}^2$$

posouzení

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_y}{\gamma_{M0} * \sqrt{3}} = \frac{720 * 235}{1.00 * \sqrt{3}} = 97\,688 \text{ N}$$

$V_{z,Ed} < V_{pl,Rd}$	34.95	<	97.7 kN	vyhovuje	35.78%
------------------------	--------------	---	----------------	----------	--------

4.5 Připojení krokve k hornímu pásu

Připoj se provede s pomocí ocelové patky.

Posouzení je provedeno pro spoj v krokvi a pro spoj v horním pásu hlavního nosníku.

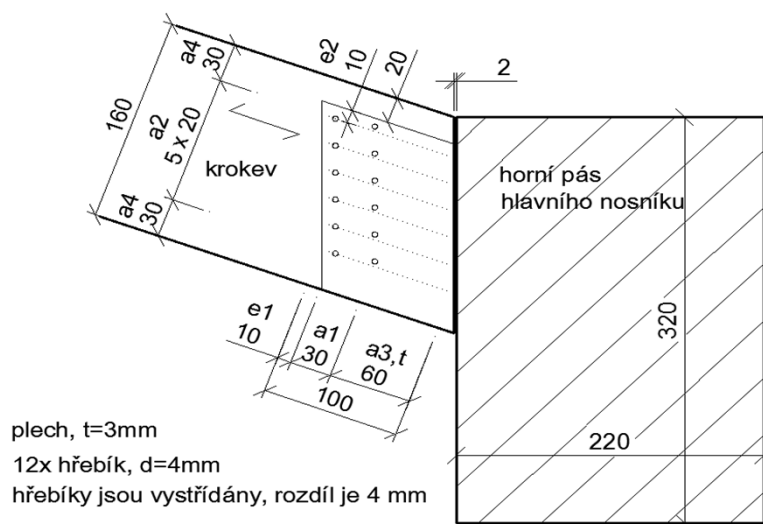
Pro tento typ spoje bývají problematická příčná tahová namáhání. Pokud ale výška připojované části vzhledem k připojovanému nosníku je 70% nejsou tato napětí kritická.

Problém bývá při připojení ke spodní části, v tomto případě je připojení v části horní.

4.5.1 Návrh spoje v krokvi

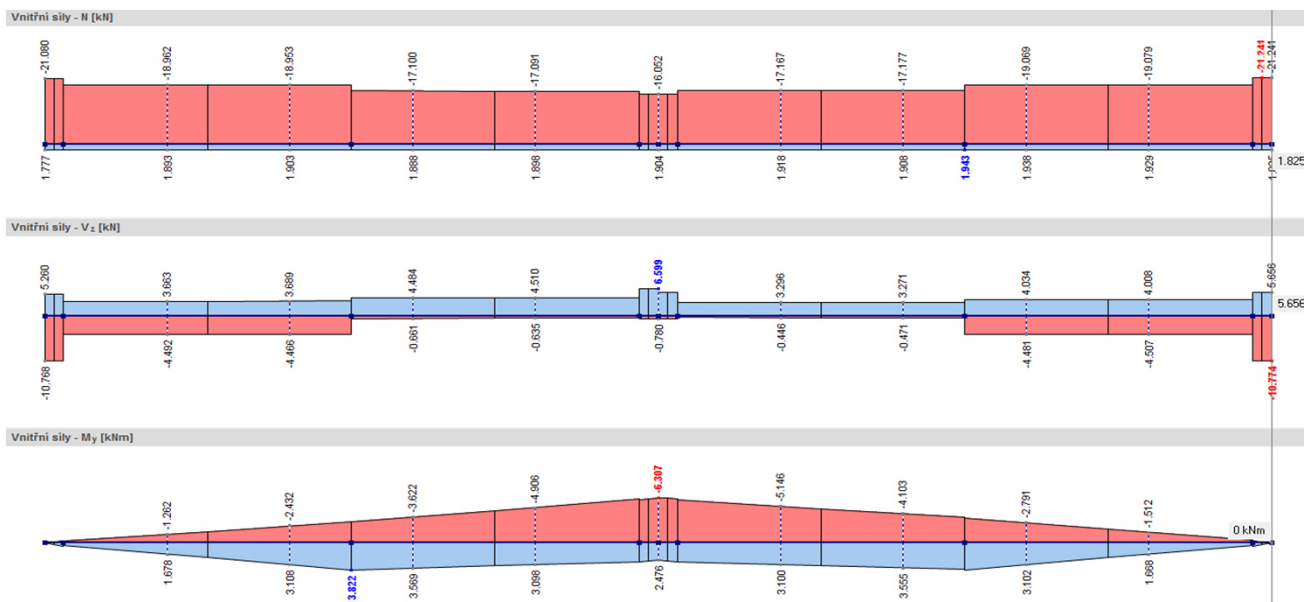
4.5.1.1 Schéma a vnitřní síly

Schéma spoje



Návrhové vnitřní síly v místě spoje

obálka vnitřních sil pro nejvytíženější krokve



N_{Ed}	21.24 kN	(tlak)
$N_{t,Ed}$	1.83 kN	(tah)
$V_{z,Ed}$	10.77 kN	
$M_{y,Ed}$	0.00 kNm	

4.5.1.2 Zatížení a geometrie spoje

Zatížení

stanovení zatížení z normálové a posouvací síly

$$F_{v,Ed} = \sqrt{N_{Ed}^2 + V_{z,Ed}^2} = \sqrt{21.24^2 + 10.77^2} = 23.82 \text{ kN}$$

úhel mezi silou a směrem vláken

$$\alpha = \arctg(V_{z,Ed} / N_{Ed}) = \arctg(10.77 / 21.24) = 26.90^\circ$$

Geometrie spoje

průměr hřebíku

d 4 mm

Velikost d = 4 mm volím z ohledem na kratký plech, při volbě d = 8 mm, jsou minimální vzdálenosti a_1 a a_2 příliš velké.

Výrobci dodávající botky vždy uvažují s hřebíky průměru 4 mm, ačkoliv s ohledem na osovou sílu je navržena atypická botka.

posouzení nutnosti předvrtání otvorů

Předvrtání otvorů se provádí pro dřevo s hustotou $\rho_k > 500 \text{ kg/m}^3$ nebo pro průměry hřebíků $d > 8 \text{ mm}$.

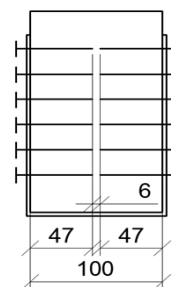
Další podmínka pro posouzení je na základě tloušťky dřevěného prvku. Pokud podmínka vyhoví, je nutné otvory předvrtat.

hustota dřeva

ρ_k 385 kg/m^3 GL-24h

$$t_{\min} < \max \left\{ \frac{7d}{(13d - 30)} \frac{\rho_k}{400} = \max \left\{ \frac{7 * 4}{(13 * 4 - 30)} \frac{385}{400} = \max \left\{ \frac{28}{21.175} = 28 \right. \right. \right.$$

47 < 28 mm nevyhovuje, předvrtání se neprovede



tabulka minimálních roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro hřebíky

Rozteče a vzdálenosti od okrajů/konců	Úhel	Min. rozteče nebo vzd od okrajů/konců	
a_1 (rovnoběžně s vlákny)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$0.7 * (5 + 5 * \cos \alpha) * d$	26 mm
a_2 (kolmo na vlákna)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$0.7 * 5 * d$	14 mm
$a_{3,t}$ (zatížený konec)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(10 + 5 * \cos \alpha) * d$	58 mm
$a_{3,c}$ (nezatížený konec)	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$10 * d$	40 mm
$a_{4,t}$ (zatížený okraj)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(5 + 2 * \sin \alpha) * d$	24 mm
$a_{4,c}$ (nezatížený okraj)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5 * d$	20 mm

tabulka nejmenších a největších roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro plech

rozměry desky

h	140 mm
t	3 mm

velikost otvoru

d_0	5 mm
-------	------

nejméně

e_1 (vzdálenost od konce)	$1.2 * d_0$	6 mm
e_2 (vzdálenost od okraje)	$1.2 * d_0$	6 mm
p_1 (rozteč v podélném směru)	$2.2 * d_0$	11 mm
p_2 (rozteč v kolmém směru)	$2.4 * d_0$	12 mm

použité rozteče nebo vzdálenosti od okrajů/konců

a_1 (rovnoběžně s vlákny)	30 mm	e_1	10 mm
a_2 (kolmo na vlákna)	20 mm	e_2	10 mm
$a_{3,t}$ (zatížený konec)	60 mm	p_1	30 mm
a_4	30 mm	p_2	20 mm

minimální pevnost v tahu hřebíku

$f_{u,k}$	700 N/mm ²
-----------	-----------------------

4.5.1.3 Posouzení spojovacích prostředků

Podle ČSN-EN 1995-1-1.

Spoj dřevo - dřevo

hustota dřeva

ρ_k	385 kg/m ³	GL-24h
----------	-----------------------	--------

charakteristická hodnota plastického momentu únosnosti $M_{y,Rk}$

$$M_{y,Rk} = 0.3 * f_{u,k} * d^{2.6} = 0.3 * 700 * 4^{2.6} = 7\,719 \text{ Nmm}$$

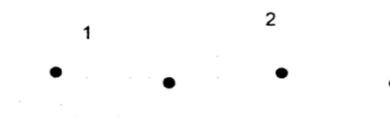
charakteristická pevnost v otláčení ve dřevu $f_{h,k}$

$$f_{h,k} = 0.082 * \rho_k * d^{-0.3} = 0.082 * 385 * 4^{-0.3} = 20.83 \text{ N/mm}^2$$

počet spojovacích prostředků pro výpočet

počet v řadě

n	2
---	---



Redukce není a hřebíky jsou vystřídány o hodnotu $d = 4 \text{ mm}$.

počet řad

$n_{\tilde{r}}$ 6

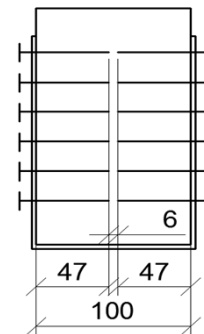
celkový počet spojovacích prostředků

$$n_{\text{celk}} = n * n_{\tilde{r}} = 2 * 6 = 12$$

Spoj ocel - dřevo

nejmenší tloušťka dřevěného prvku

t_1 47 mm (hřebík je v polovině)



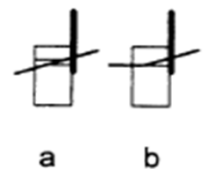
charakteristická únosnost na vytažení spojovacího prostředku

$F_{ax,Rk}$ 0 kN síla je neznámá

charakteristická únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku

a) pro tenkou desku

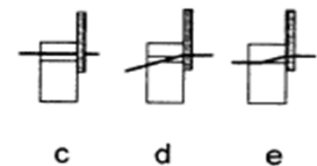
$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \frac{0.4 * f_{h,k} * t_1 * d}{1.15 * \sqrt{2 * M_{y,Rk} * f_{h,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}} \right\}$$



$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \frac{0.4 * 20.83 * 47 * 4}{1.15 * \sqrt{2 * 7719 * 20.83 * 4} + \frac{0}{4}} \right\} = \min \left\{ \frac{1566 N}{1304 N} \right\} = 1304 N$$

b) pro tlustou desku

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \frac{f_{h,k} * t_1 * d * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * M_{y,Rk}}{f_{h,k} * d * t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}}{2.3 * \sqrt{M_{y,Rk} * f_{h,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}} \right\}$$



$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \frac{20.83 * 47 * 4 * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * 7719}{20.83 * 4 * 47^2}} - 1 \right] + \frac{0}{4}}{2.3 * \sqrt{7719 * 20.83 * 4} + \frac{0}{4}} \right\} = \min \left\{ \frac{1850 N}{1844 N}, \frac{3916 N}{1844 N} \right\} = 1844 N$$

d	4 mm	tlustá deska:	$t > d$
0.5d	2 mm	tenká deska:	$t < 0.5d$
t	3 mm		

interpolace mezi $F_{v,Rk}$ pro tenkou a pro tlustou desku:

$$F_{v,Rk} = (F_{v,Rk} + F_{v,Rk}) / 2 = (1304 + 1844) / 2 = 1574 N$$

návrhová únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku

γ_M	1.25	GL-24h
k_{mod}	0.9	třída provozu 2

$$F_{v,Rd,1} = F_{v,Rk} * k_{mod} / \gamma_M = 1\,574 * 0.9 / 1.25 = 1\,134 \text{ N}$$

Návrhová únosnost spoje

počet spojovacích prostředků

n_{celk}	12
------------	----

počet rovin stříhu

n_s	1
-------	---

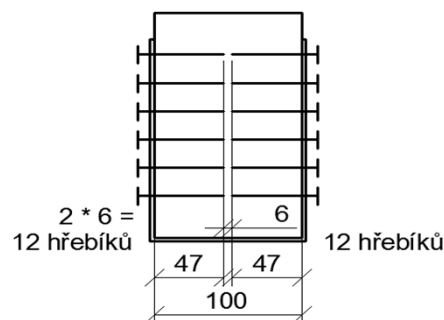
návrhová únosnost spoje

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd,1} * n_c * n_s = 1\,134 * 12 * 1 = 13\,602 \text{ N}$$

Posouzení spoje na stříh

$$F_{v,Ed} / 2 \quad (\text{spojení na obou stranách}) \quad 11.91 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} > F_{v,Ed} / 2 \quad 14 > 11.91 \text{ kN} \quad \text{vyhovuje} \quad 87.55\%$$



4.5.1.4 Posouzení ocelové desky

Podle ČSN-EN 1993-1-1 a ČSN-EN 1993-1-8.

1. Posouzení desky v otláčení (má menší pevnost než spojovací prostředky)

materiál desky a příslušné pevnosti

ocel S235	
f_y	235 MPa
f_u	360 MPa

průřezové charakteristiky desky

h	140 mm
t	3 mm

$$A = h * t = 140 * 3 = 420 \text{ mm}^2$$

velikost otvorů v desce

d_0	5 mm
-------	------

únosnost v otlačení

$$\gamma_{M2} = 1.25$$

1) ve směru zatížení

pro spojovací prostředky na konci

$$\alpha_d = e_1/3d_0 = 10 / (3 * 5) = 0.67$$

pro vnitřní spojovací prostředky

$$\alpha_d = p_1/3d_0 - 1/4 = 30 / (3*5) - 1/4 = 1.75$$

2) kolmo na směr zatížení

spojovací prostředky u okraje

$$k_1 = \min(2.8 * e_2/d_0 - 1.7; 2.5) = \min(2.8 * 10/5 - 1.7; 2.5) = 2.50$$

pro vnitřní spojovací prostředky

$$k_1 = \min(1.4 * p_2/d_0 - 1.7; 2.5) = \min(1.4 * 20/5 - 1.7; 2.5) = 2.50$$

$$\alpha_b = \min(\alpha_d; f_{ub}/f_u; 1) = \min(0.67; 700/360; 1) = 0.67$$

$$F_{b,Rd} = k_1 * a_b * f_u * d * t / \gamma_{M2} = 2.50 * 0.67 * 360 * 4 * 3 / 1.25 = 5\,760 \text{ N}$$

posouzení na únosnost v otlačení

$$F_1 = F_{v,Ed} / 2n = 23.82 / 2 * 12 = 0.99 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} > F_1 \quad \quad \quad \mathbf{5.76} \quad > \quad \mathbf{0.99 \text{ kN}} \quad \quad \text{vyhovuje} \quad \quad 17.23\%$$

Deska je na obou stranách a proto se bere $F_{v,Ed} / (2 * n)$.

2. Posouzení na přenos vnitřních sil

$$N_{ed} / 2 \quad \quad 10.62 \text{ kN} \quad \quad (\text{tlak})$$

$$V_{z,Ed} / 2 \quad \quad 5.39 \text{ kN}$$

zatřídění průřezu

zatřídění je pro tlak

$$c = h \quad \quad 140 \text{ mm}$$

$$t \quad \quad 3 \text{ mm}$$

$$c/t \quad \quad 46.67$$

$$\epsilon = (235/f_y)^{0.5} \quad \quad 1.00$$

$$\text{třída 4: } c/t > 42\epsilon \quad \quad 46.67 \quad > \quad 42.00$$

Tlak

$$N_{c,Rd} = A_{eff} * f_y / \gamma_{M0} = 210 * 235 / 1.00 = 49\,350 \text{ N}$$

$$A_{eff} \text{ odhad} = A / 2 = 420 / 2 = 210 \text{ mm}^2$$

$$(N_{ed} / 2) / N_{c,Rd} = 10.62 / 49.35 = 0.22 < 1.00$$

vyhovuje

21.52%

Smyk

smyková plocha

$$A_v = A = 420 \text{ mm}^2$$

posouzení

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_y}{\gamma_{M0} * \sqrt{3}} = \frac{420 * 235}{1.00 * \sqrt{3}} = 56\,984 \text{ N}$$

$$(V_{z,Ed} / 2) < V_{pl,Rd}$$

5.39

<

56.98 kN

vyhovuje

9.45%

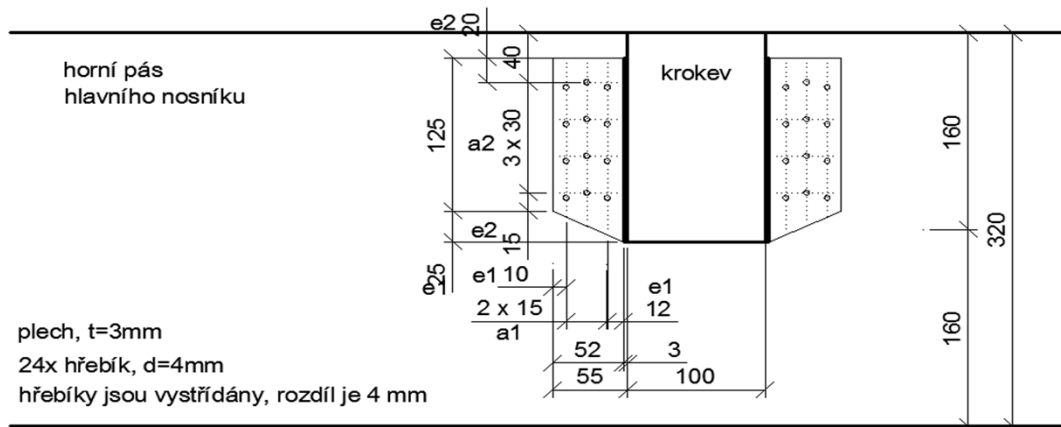
4.5.2 Návrh spoje v horním páse

Hřebíky jsou osově a příčně zatíženy.

Pro osově zatížení se nesmí použít hladké hřebíky a použijí se hřebíky šroubové.

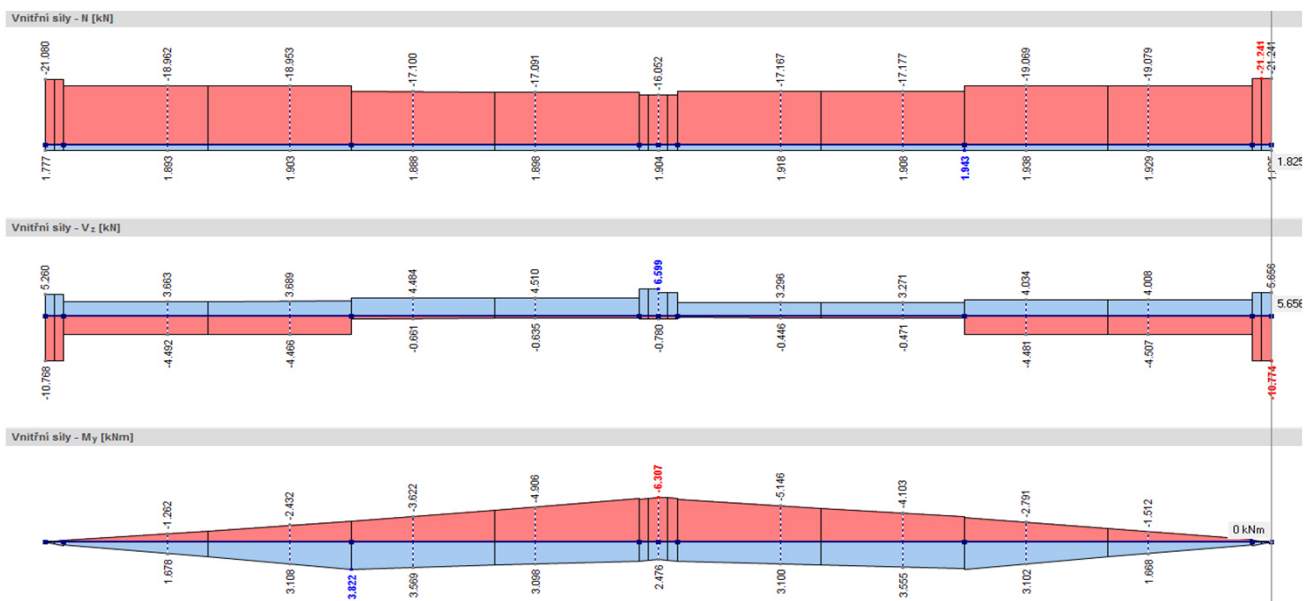
4.5.2.1 Schéma a vnitřní síly

Schéma spoje



Návrhové vnitřní síly v místě spoje

obálka vnitřních sil pro nejvytíženější krokev



N_{Ed}	1.83 kN	(tah)
$V_{z,Ed}$	10.77 kN	
e	0.11 m	(mimostřednost = polovina šířky hlavního nosníku)
$M_{y,Ed} = V_{z,Ed} \cdot e$	1.08 kNm	

4.5.2.2 Zatížení a geometrie spoje

Zatížení

největší tahové zatížení od momentu

$$z_1 = 30 \text{ mm}$$

$$z_{\max} = 120 \text{ mm}$$

$$\sum z_i^2 = 30^2 + 60^2 + 90^2 + 120^2 = 27\,000 \text{ mm}^2$$

$$F_{ax,\max,c} = M_{y,Ed} \cdot z_{\max} / \sum z_i^2 = 1.08 \cdot 10^6 \cdot 120 / 27\,000 = 4\,788 \text{ N}$$

pro všechny v řadě

$$F_{ax,\max} = F_{ax,\max,c} / n = 4\,788 / 6 = 798 \text{ N}$$

$$n = 6$$

pro jeden hřebík

osové namáhání na jeden hřebík od normálové síly

$$n_{\text{celk}} = 24$$

$$F_{N1} = N_{ed} / n_{\text{celk}} = 1.83 / 24 = 0.08 \text{ kN}$$

největší tahové namáhání

$$F_{ax,Ed} = F_{ax,\max} + F_{N1} = 0.87 \text{ kN}$$

namáhání na jeden hřebík od posouvací síly

$$n_{\text{celk}} = 24$$

$$F_{V,Ed} = V_{z,Ed} / n_{\text{celk}} = 10.77 / 24 = 0.45 \text{ kN}$$

úhel mezi silou (osová nebo posouvací) a směrem vláken

$$\alpha = 90.00^\circ$$

Geometrie spoje

průměr hřebíku

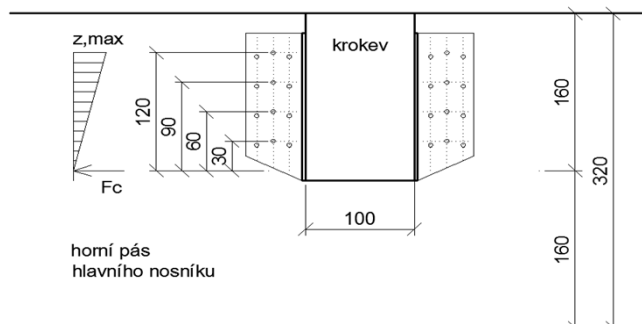
$$d = 4 \text{ mm}$$

Velikost $d = 4 \text{ mm}$ volím z ohledem na krátký plech, při volbě $d = 8 \text{ mm}$, jsou minimální vzdálenosti a_1 a a_2 příliš velké.

posouzení nutnosti předvrtání otvorů

Předvrtání otvorů se provádí pro dřevo s hustotou $\rho_k > 500 \text{ kg/m}^3$ nebo pro průměry hřebíků $d > 8 \text{ mm}$.

Další podmínka pro posouzení je na základě tloušťky dřevěného prvku. Pokud podmínka vyhoví, je nutné otvory předvrtat.



hustota dřeva

ρ_k 385 kg/m³ GL-24h

$$t_{\min} < \max \left\{ \frac{7d}{(13d - 30)} \frac{\rho_k}{400} = \max \left\{ \frac{7 * 4}{(13 * 4 - 30)} \frac{385}{400} = 28 \text{ mm} \right. \right.$$

100 < 28 mm nevyhovuje, předvrtání se neprovede

tabulka minimálních roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro hřebíky

Rozteče a vzdálenosti od okrajů/konců	Úhel	Min. rozteče nebo vzd od okrajů/konců	
a_1 (rovnoběžně s vlákny)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$0.7 * (5 + 5 * \cos \alpha) * d$	14 mm
a_2 (kolmo na vlákna)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$0.7 * 5 * d$	14 mm
$a_{3,t}$ (zatížený konec)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(10 + 5 * \cos \alpha) * d$	40 mm
$a_{3,c}$ (nezatížený konec)	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$10 * d$	40 mm
$a_{4,t}$ (zatížený okraj)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(5 + 2 * \sin \alpha) * d$	28 mm
$a_{4,c}$ (nezatížený okraj)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5 * d$	20 mm

tabulka nejmenších a největších roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro plech

rozměry desky

h 150 mm
t 3 mm

velikost otvoru

d_0 5 mm

nejméně

e_1 (vzdálenost od konce)	$1.2 * d_0$	6 mm
e_2 (vzdálenost od okraje)	$1.2 * d_0$	6 mm
p_1 (rozteč v podélném směru)	$2.2 * d_0$	11 mm
p_2 (rozteč v kolmém směru)	$2.4 * d_0$	12 mm

použité rozteče nebo vzdálenosti od okrajů/konců

a_1 (rovnoběžně s vlákny)	15 mm	e_1	10 mm
a_2 (kolmo na vlákna)	30 mm	e_2	15 mm
a_4	40 mm	p_1	15 mm
		p_2	30 mm

minimální pevnost v tahu hřebíku

$f_{u,k}$ 700 N/mm²

4.5.2.3 Posouzení spojovacích prostředků

Podle ČSN-EN 1995-1-1.

Spoj dřevo - dřevo

hustota dřeva

ρ_k 385 kg/m³ GL-24h

charakteristická hodnota plastického momentu únosnosti $M_{y,Rk}$

$$M_{y,Rk} = 0.3 * f_{u,k} * d^{2.6} = 0.3 * 700 * 4^{2.6} = 7\,719 \text{ Nmm}$$

charakteristická pevnost v otláčení ve dřevu $f_{h,k}$

$$f_{h,k} = 0.082 * \rho_k * d^{-0.3} = 0.082 * 385 * 4^{-0.3} = 20.83 \text{ N/mm}^2$$

počet spojovacích prostředků pro výpočet

počet v řadě

n 6



Redukce není a hřebíky jsou vystřídány o hodnotu $d = 4 \text{ mm}$.

počet řad

n_r 4

celkový počet spojovacích prostředků

$n_{\text{celk}} = n * n_r$ 24

Spoj ocel - dřevo

nejmenší tloušťka dřevěného prvku

t_1 100 mm

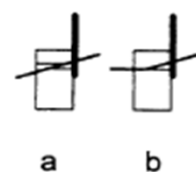
charakteristická únosnost na vytažení spojovacího prostředku

$F_{ax,Rk}$ 0 kN síla je neznámá

charakteristická únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku

a) pro tenkou desku

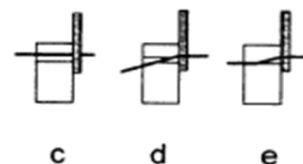
$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \frac{0.4 * f_{h,k} * t_1 * d}{1.15 * \sqrt{2 * M_{y,Rk} * f_{h,k} * d}} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \right\}$$



$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \frac{0.4 * 20.83 * 100 * 4}{1.15 * \sqrt{2 * 7\,719 * 20.83 * 4}} + \frac{0}{4} \right\} = \min \left\{ \frac{3\,333 \text{ N}}{1\,304 \text{ N}} \right\} = 1\,304 \text{ N}$$

b) pro tlustou desku

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{v,Rk}}{f_{h,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2.3 \cdot \sqrt{M_{v,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \end{array} \right.$$



$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 20.83 \cdot 100 \cdot 4 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 7719}{20.83 \cdot 4 \cdot 100^2}} - 1 \right] + \frac{0}{4} \\ 2.3 \cdot \sqrt{7719 \cdot 20.83 \cdot 4} + \frac{0}{4} \\ 20.83 \cdot 100 \cdot 4 \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} 3560 \text{ N} \\ 1844 \text{ N} \\ 8331 \text{ N} \end{array} \right. = 1844 \text{ N}$$

d	4 mm	tlustá deska:	t > d
0.5d	2 mm	tenká deska:	t < 0.5d
t	3 mm		

interpolace mezi $F_{v,Rk}$ pro tenkou a pro tlustou desku:

$$F_{v,Rk} = (F_{v,Rk} + F_{v,Rk})/2 = (1304 + 1844)/2 = 1574 \text{ N}$$

návrhová únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku

γ_M	1.25	lepené lamelové dřevo
k_{mod}	0.9	třída provozu 2

$$F_{v,Rd,1} = F_{v,Rk} \cdot k_{mod} / \gamma_M = 1574 \cdot 0.9 / 1.25 = 1134 \text{ N}$$

Návrhová únosnost spoje

počet spojovacích prostředků

n_{celk}	24
------------	----

počet rovin stříhu

n_s	1
-------	---

návrhová únosnost spoje

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd,1} \cdot n_c \cdot n_s = 1134 \cdot 24 \cdot 1 = 27205 \text{ N}$$

Posouzení spoje na stříh

$V_{z,Ed}$	10.77 kN
------------	----------

$F_{v,Rd} > V_{z,Ed}$	27.20	>	10.77 kN	vyhovuje	39.60%
-----------------------	-------	---	----------	----------	--------

Posouzení na tah

charakteristická pevnost na vytažení v prvku

$$f_{ax,k} \quad 4.5 \text{ Nmm}^2$$

charakteristická pevnost na protažení hlavičky

$$f_{head,k} \quad 20.86 \text{ Nmm}^2$$

průměr hřebíku

$$d \quad 4 \text{ mm}$$

průměr hlavičky hřebíku

$$d_h = 2.5 * d = 2.5 * 4 = 10 \text{ mm}$$

délka vniku hrotu nebo délka závitové části v prvku

$$t_{pen} \quad 97 \text{ mm}$$

charakteristická únosnost hřebíků na vytažení

$$F_{ax,Rk} = \min \left\{ \frac{f_{ax,k} * d * t_{pen}}{f_{head,k} * d_h^2} \right\} = \min \left\{ \frac{4.5 * 4 * 97}{20.86 * 10^2} \right\} = \min \left\{ \frac{1746 \text{ N}}{2086 \text{ N}} \right\} = 1746 \text{ N}$$

návrhová únosnost hřebíků na vytažení

$$F_{ax,Rd} = F_{ax,Rk} * k_{mod} / \gamma_M = 1746 * 0.9 / 1.25 = 1257 \text{ N}$$

posouzení na vytažení

$$F_{ax,Ed} \quad 0.87 \text{ kN}$$

$$F_{ax,Rd} > F_{ax,Ed} \quad 1.26 > 0.87 \text{ kN} \quad \text{vyhovuje} \quad 69.53\%$$

Kombinace smykové a tahové únosnosti

$$F_{ax,Ed} \quad 0.87 \text{ kN}$$

$$F_{ax,Rd} \quad 1.26 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} \quad 0.45 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} \quad 1.13 \text{ kN}$$

$$\left(\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right)^2 \leq 1$$

$$0.48 + 0.16 < 1$$

$$0.64 < 1 \quad \text{vyhovuje} \quad 64.03\%$$

4.5.2.4 Posouzení ocelové desky

Podle ČSN-EN 1993-1-1 a ČSN-EN 1993-1-8.

1. Posouzení desky v otláčení (má menší pevnost než spojovací prostředky)

materiál desky a příslušné pevnosti

ocel S235

f_y 235 MPa

f_u 360 MPa

průřezové charakteristiky desky

h 150 mm

t 3 mm

$$A = h * t = 150 * 3 = 450 \text{ mm}^2$$

velikost otvorů v desce

d_0 5 mm

únosnost v otláčení

γ_{M2} 1.25

1) ve směru zatížení

pro spojovací prostředky na konci

$$\alpha_d = e_1 / 3d_0 = 10 / (3 * 5) = 0.67$$

pro vnitřní spojovací prostředky

$$\alpha_d = p_1 / 3d_0 - 1/4 = 15 / (3 * 5) - 1/4 = 0.75$$

2) kolmo na směr zatížení

spojovací prostředky u okraje

$$k_1 = \min(2.8 * e_2 / d_0 - 1.7; 2.5) = \min(2.8 * 15 / 5 - 1.7; 2.5) = 2.50$$

pro vnitřní spojovací prostředky

$$k_1 = \min(1.4 * p_2 / d_0 - 1.7; 2.5) = \min(1.4 * 30 / 5 - 1.7; 2.5) = 2.50$$

$$\alpha_b = \min(\alpha_d; f_{ub} / f_u; 1) = \min(0.67; 700 / 360; 1) = 0.67$$

$$F_{b,Rd} = k_1 * \alpha_b * f_u * d * t / \gamma_{M2} = 2.50 * 0.67 * 360 * 4 * 3 / 1.25 = 5760 \text{ N}$$

posouzení na únosnost v otláčení

$F_{v,Ed}$ 0.45 kN

$F_{b,Rd} > F_{v,Ed}$ **5.76** > **0.45 kN** vyhovuje 7.79%

2. Posouzení na přenos vnitřních sil

Normálová síla působí kolmo na plech a moment je téměř nulový.

$$V_{z,Ed} \quad 10.77 \text{ kN}$$

Smyk

smyková plocha

$$A_v = A \quad 450 \text{ mm}^2$$

posouzení

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_y}{\gamma_{M0} * \sqrt{3}} = \frac{450 * 235}{1.00 * \sqrt{3}} = 61\,055 \text{ N}$$

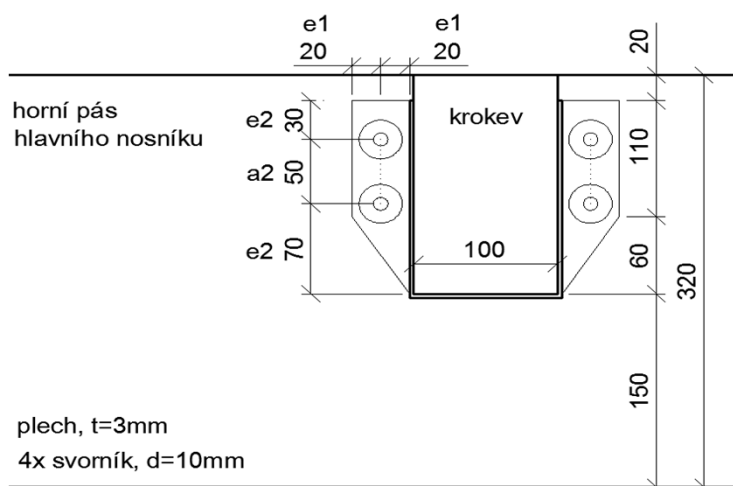
$$V_{z,Ed} < V_{pl,Rd} \quad \mathbf{10.77} \quad < \quad \mathbf{61.1 \text{ kN}} \quad \text{vyhovuje} \quad 17.65\%$$

4.5.3 Návrh spoje v horním páse s připojeným táhlem

Z důvodu připojení táhla ke spodní straně ocelové desky krokve jsou spojovací prostředky namáhány na velkou tahovou sílu. Vychází velké množství hřebíků, z tohoto důvodu je spoj proveden jako svorníkový. Svorníky jsou osově a příčně zatíženy.

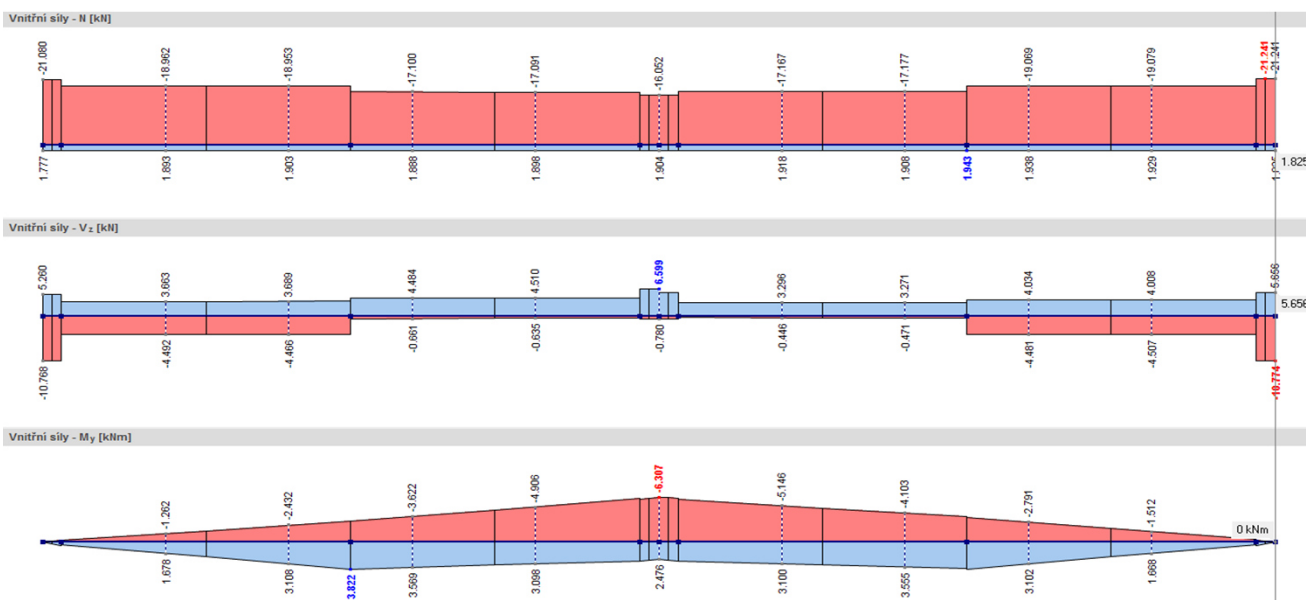
4.5.3.1 Schéma a vnitřní síly

Schéma spoje



Návrhové vnitřní síly v místě spoje

obálka vnitřních sil pro nejvytíženější krokev



N_{Ed}	1.83 kN	(tah)
$V_{z,Ed}$	10.77 kN	
e	0.11 m	(mimostřednost = polovina šířky hlavního nosníku)
$M_{y,Ed} = V_{z,Ed} * e$	1.08 kNm	

4.5.3.2 Zatížení a geometrie spoje

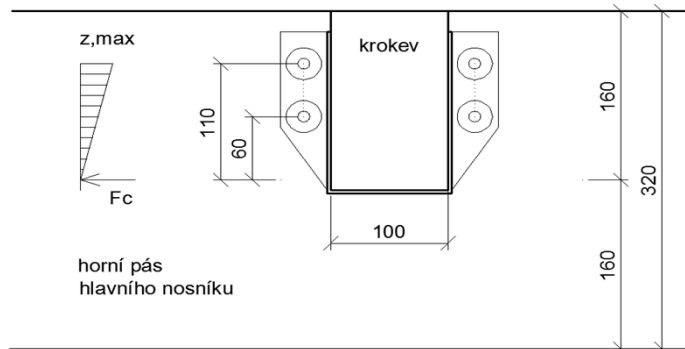
Zatížení

největší tahové zatížení od momentu

$$z_1 = 60 \text{ mm}$$

$$z_{\max} = 110 \text{ mm}$$

$$\sum z_i^2 = 60^2 + 110^2 = 15\,700 \text{ mm}^2$$



$$F_{ax, \max, c} = M_{y, Ed} \cdot z_{\max} / \sum z_i^2 = 1.08 \cdot 10^6 \cdot 110 / 15\,700 = 7\,549 \text{ N} \quad \text{pro všechny v řadě}$$

$$F_{ax, \max} = F_{ax, \max, c} / n = 7\,549 / 2 = 3\,774 \text{ N}$$

pro jeden svorník

$$n = 2$$

osové namáhání na jeden svorník od normálové síly

$$n_{\text{celk}} = 4$$

$$F_{N1} = N_{ed} / n_{\text{celk}} = 1.83 / 4 = 0.46 \text{ kN}$$

osové namáhání na jeden svorník od normálové síly táhla

$$N_{Ed, \max} = 48.61 \text{ kN}$$

$$n_{\text{celk}} = 4$$

$$F_{N2} = N_{Ed, \max} / n_{\text{celk}} = 48.61 / 4 = 12.15 \text{ kN}$$

největší tahové namáhání

$$F_{ax, Ed} = F_{ax, \max} + F_{N1} + F_{N2} = 3.774 + 0.46 + 12.15 = 16.38 \text{ kN}$$

namáhání na jeden svorník od posouvací síly

$$n_{\text{celk}} = 4$$

$$F_{v, Ed} = V_{z, Ed} / n_{\text{celk}} = 10.77 / 4 = 2.69 \text{ kN}$$

úhel mezi silou (osová nebo posouvací) a směrem vláken

$$\alpha = 90.00^\circ$$

Geometrie spoje

průměr svorníku

$$d = 10 \text{ mm}$$

tabulka minimálních roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro svorníky

Rozteče a vzdálenosti od okrajů/konců	Úhel	Min rozteče nebo vzd od okrajů/konců	
a_1 (rovnoběžně s vlákny)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4 + \cos \alpha) \cdot d$	40 mm
a_2 (kolmo na vlákna)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$4 \cdot d$	40 mm
$a_{4,t}$ (zatížený okraj)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max((2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 3 \cdot d)$	40 mm
$a_{4,c}$ (nezatížený okraj)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 \cdot d$	30 mm

tabulka nejmenších a největších roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro plech

rozměry desky

h	150 mm
t	3 mm

velikost otvoru

d ₀	11 mm
----------------	-------

nejméně

e ₁ (vzdálenost od konce)	1.2 * d ₀	13.2 mm
e ₂ (vzdálenost od okraje)	1.2 * d ₀	13.2 mm
p ₁ (rozteč v podélném směru)	2.2 * d ₀	24.2 mm
p ₂ (rozteč v kolmém směru)	2.4 * d ₀	26.4 mm

použité rozteče nebo vzdálenosti od okrajů/konců

a ₂ (kolmo na vlákna)	50 mm	e ₁	20 mm
		e ₂	30 mm
		p ₂	50 mm

napětí na mezi kluzu a pevnost v tahu svorníku třídy 6.8

f _y	480 N/mm ²
f _u	600 N/mm ²

4.5.3.3 Posouzení spojovacích prostředků

Podle ČSN-EN 1995-1-1.

Spoj dřevo - dřevo

hustota dřeva

ρ _k	385 kg/m ³	GL-24h
----------------	-----------------------	--------

charakteristická hodnota plastického momentu únosnosti M_{y,Rk}

$$M_{y,Rk} = 0.3 * f_{u,k} * d^{2.6} = 0.3 * 600 * 10^{2.6} = 71\,659 \text{ Nmm}$$

charakteristická pevnost v otláčení ve dřevu f_{h,k}

$$f_{h,0,k} = 0.082 * (1 - 0.01 * d) * \rho_k = 0.082 * (1 - 0.01 * 10) * 385 = 28.41 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} * \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{28.41}{1.50 * \sin^2 90 + \cos^2 90} = 18.94 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{90} = 1.35 + 0.015 * d = 1.35 + 0.015 * 10 = 1.50$$

pro dřevo jehličnatých dřevin

počet spojovacích prostředků pro výpočet

počet v řadě

n 2

počet řad

$n_{\text{ř}}$ 2

celkový počet spojovacích prostředků

$n_{\text{celk}} = n * n_{\text{ř}}$ 4

Spoj ocel - dřevo

nejmenší tloušťka dřevěného prvku

t_1 220 mm

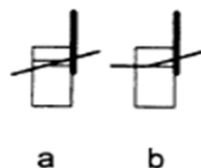
charakteristická únosnost na vytažení spojovacího prostředku

$F_{ax,Rk}$ 0 kN *síla je neznámá*

charakteristická únosnost pro jeden střih jednoho spojovacího prostředku

a) pro tenkou desku

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \frac{0.4 * f_{h,k} * t_1 * d}{1.15 * \sqrt{2 * M_{y,Rk} * f_{h,k} * d}} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \right.$$



$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \frac{0.4 * 18.94 * 220 * 10}{1.15 * \sqrt{2 * 71\,659 * 18.94 * 10}} + \frac{0}{4} \right\} = \min \left\{ \frac{16\,669\,N}{5\,992\,N} \right\} = 5\,992\,N$$

0.5d 5 mm tenká deska: $t < 0.5d$
t 3 mm

návrhová únosnost pro jeden střih jednoho spojovacího prostředku

γ_M 1.25 *lepené lamelové dřevo*
 k_{mod} 0.9 *třída provozu 2*

$$F_{v,Rd,1} = F_{v,Rk} * k_{\text{mod}} / \gamma_M = 5\,992 * 0.9 / 1.25 = 4\,314\,N$$

Návrhová únosnost spoje

počet spojovacích prostředků

n_{celk} 4

počet rovin stříhu

n_s 1

návrhová únosnost spoje

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd,1} * n_{celk} * n_s = 4\,313 * 4 * 1 = 17\,257 \text{ N}$$

Posouzení spoje na stříh

$V_{z,Ed}$ 10.77 kN

$F_{v,Rd} > V_{z,Ed}$ 17.26 > 10.77 kN vyhovuje 62.43%

Posouzení na tah

průměr svorníku

d 10 mm

plocha dříku svorníku

$$A = \pi * d^2 / 4 = \pi * 10^2 / 4 = 78.54 \text{ mm}^2$$

návrhová únosnost na vytažení

$$F_{ax,Rd} = A * f_y / \gamma_{M0} = 78.54 * 480 / 1.00 = 37\,699 \text{ N}$$

posouzení na vytažení

$F_{ax,Ed}$ 16.38 kN

$F_{ax,Rd} > F_{ax,Ed}$ 37.70 > 16.38 kN vyhovuje 43.46%

Kombinace smykové a tahové únosnosti

$F_{ax,Ed}$ 16.38 kN

$F_{ax,Rd}$ 37.70 kN

$F_{v,Ed}$ 2.69 kN

$F_{v,Rd}$ 4.31 kN

$$\left(\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 \leq 1$$

0.19 + 0.39 < 1
0.58 < 1 vyhovuje 57.87%

4.5.3.4 Posouzení ocelové desky

Podle ČSN-EN 1993-1-1 a ČSN-EN 1993-1-8.

1. Posouzení desky v otláčení (má menší pevnost než spojovací prostředky)

materiál desky a příslušné pevnosti

ocel S235

f_y 235 MPa

f_u 360 MPa

průřezové charakteristiky desky

h 150 mm

t 3 mm

$A = h * t$ 450 mm²

velikost otvorů v desce

d_0 11 mm

únosnost v otláčení

γ_{M2} 1.25

1) ve směru zatížení

pro spojovací prostředky na konci

$$\alpha_d = e_1/3d_0 = 20 / (3 * 11) = 0.61$$

2) kolmo na směr zatížení

spojovací prostředky u okraje

$$k_1 = \min(2.8 * e_2/d_0 - 1.7; 2.5) = \min(2.8 * 30/11 - 1.7; 2.5) = 2.50$$

pro vnitřní spojovací prostředky

$$k_1 = \min(1.4 * p_2/d_0 - 1.7; 2.5) = \min(1.4 * 50/11 - 1.7; 2.5) = 2.50$$

$$\alpha_b = \min(\alpha_d; f_{ub}/f_u; 1) = \min(0.61; 600/360; 1) = 0.61$$

$$F_{b,Rd} = k_1 * a_b * f_u * d * t / \gamma_{M2} = 2.50 * 0.61 * 360 * 10 * 3 / 1.25 = 13\,091 \text{ N}$$

posouzení na únosnost v otláčení

$F_{v,Ed}$ 2.69 kN

$F_{b,Rd} > F_{v,Ed}$ **13.09** > **2.69 kN** vyhovuje 20.58%

2. Posouzení na přenos vnitřních sil

Normálová síla působí kolmo na plech a moment je téměř nulový.

$$V_{z,Ed} \quad 10.77 \text{ kN}$$

Smyk

smyková plocha

$$A_v = A \quad 450 \text{ mm}^2$$

posouzení

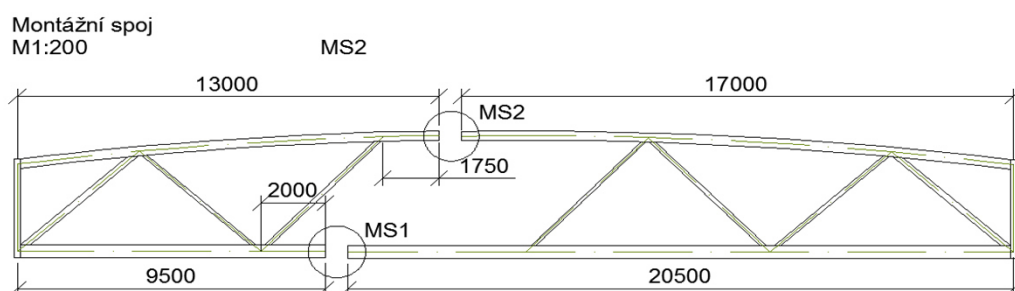
$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_y}{\gamma_{M0} * \sqrt{3}} = \frac{450 * 235}{1.00 * \sqrt{3}} = 61\,055 \text{ N}$$

$$V_{z,Ed} < V_{pl,Rd} \quad \mathbf{10.77} \quad < \quad \mathbf{61.1 \text{ kN}} \quad \text{vyhovuje} \quad 17.65\%$$

4.6 Montážní spoj spodního pásu

Spodní pás má délku rovnu 30 m. Možná délka je závislá na přepravních možnostech. Maximální možná délka prutu z lepeného lamelového dřeva se podle výrobců pohybuje kolem 24 m. Spoj se nachází ve vzdálenosti 9.5 m. Spodní pás je tedy rozdělen na délky 9.5 m a 20.5 m.

Spoj je proveden jako kolíkový se třemi ocelovými deskami, které jsou vloženy do zářezů ve spodním pásu. Jako mechanické spojovací prostředky jsou použity kolíky. Ty jsou namáhány na stříh.

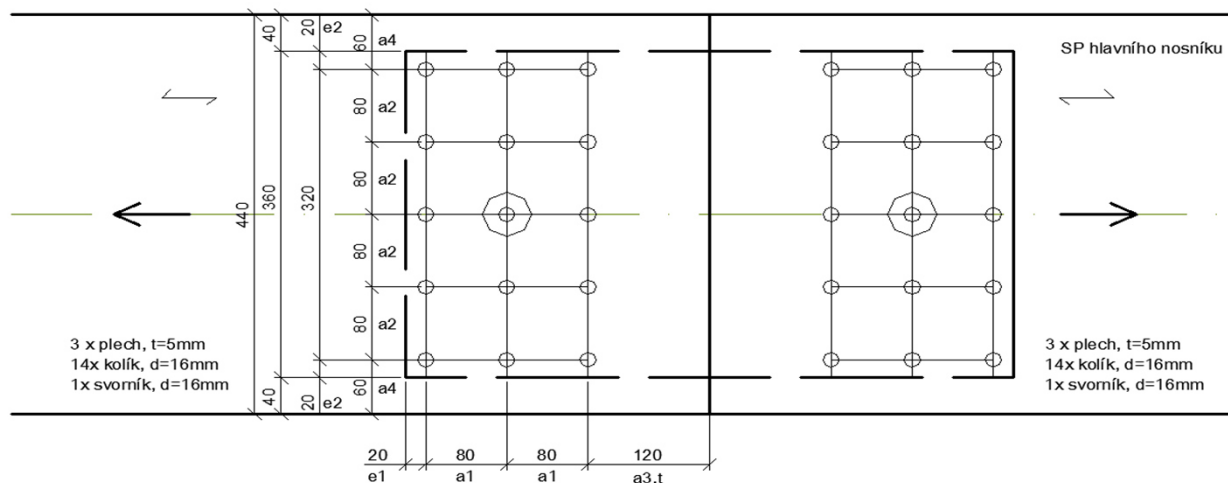


Místa montážních spojů jsou volena tak, aby nebyla v místě přípojí příčníků, krokví a diagonál. V těchto místech je menší M.

D4 se připojí na místě

4.6.1 Schéma a vnitřní síly

Schéma spoje



Oslabení průřezu

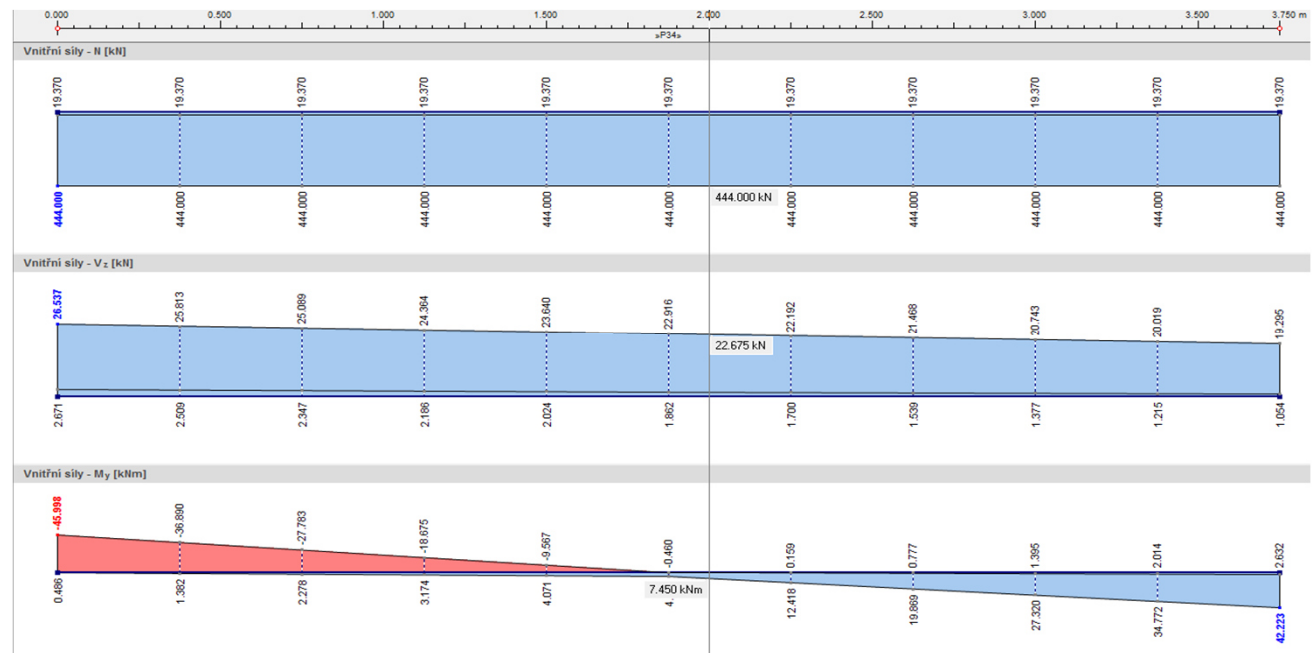
h	440 mm
d (kolík)	16 mm
n kolíků	5
$h_{net} = h - d \cdot n$	360 mm
b	220 mm
t (deska)	5 mm

n desek 3
b net = b - t * n 205 mm

A net = h net * b net 73800 mm²

Návrhové vnitřní síly v místě spoje

obálka vnitřních sil



N_{Ed} 444.00 kN (tah)

$V_{z,Ed}$ 22.68 kN

$M_{y,Ed}$ 7.45 kNm

4.6.2 Zatížení a geometrie spoje

Zatížení

1. zatížení $F_{v,Ed,a}$

stanovení zatížení z normálové a posuvací síly

$$F_{v,Ed,a} = \sqrt{N_{Ed}^2 + V_{z,Ed}^2} = \sqrt{444.00^2 + 22.68^2} = 444.58 \text{ kN}$$

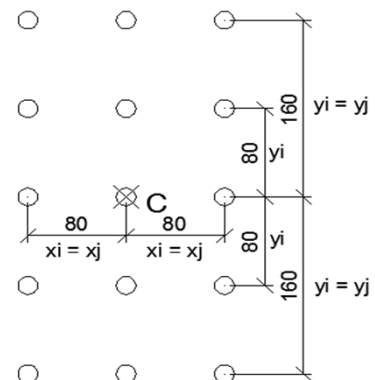
úhel mezi silou a směrem vláken

$$\alpha_{,a} = \arctg(V_{z,Ed} / N_{Ed}) = \arctg(22.68 / 444.00) = 2.92^\circ$$

2. zatížení $F_{v,Ed,b}$

stanovení zatížení z momentu

$$F_{M,x} = M_{y,Ed} * y_j / (\Sigma(x_i^2 + y_i^2)) = 7.45 * 0.16 / ((6*0.16^2) + (6*0.08^2) + (10*0.08^2)) = 4.66 \text{ kN}$$



$$F_{M,y} = M_{y,Ed} * x_j / (\Sigma(x_i^2 + y_i^2)) = 7.45 * 0.08 / ((6*0.16^2)+(6*0.08^2)+(10*0.08^2)) = 2.33 \text{ kN}$$

stanovení zatížení z normálové a posouvací síly

$$F_N = N_{ed} / n = 444.00 / 15 = 29.60 \text{ kN}$$

$$F_V = V_{z,Ed} / n = 22.68 / 15 = 1.51 \text{ kN}$$

n 15

stanovení celkového zatížení

$$F = \sqrt{(F_{M,x} + F_N)^2 + (F_{M,y} + F_V)^2} = \sqrt{(4.66 + 29.60)^2 + (2.33 + 1.51)^2} = 34.47 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed,b} = F / 6 = 34.47 / 6 = 5.75 \text{ kN}$$

6 rovin stříhu

úhel mezi silou a směrem vláken

$$\alpha, b = \arctg((F_{M,y} + F_V) / (F_{M,x} + F_N)) = \arctg((2.33 + 1.51) / (4.66 + 29.60)) = 6.40^\circ$$

Geometrie spoje

průměr spojovacího prostředku

d 16 mm

tabulka minimálních roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro kolíky

Rozteče a vzdálenosti od okrajů/konců	Úhel	Min rozteče nebo vzd od okrajů/konců	
a_1 (rovnoběžně s vlákny)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(3+2* \cos \alpha)*d$	80 mm
a_2 (kolmo na vlákna)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3*d$	48 mm
$a_{3,t}$ (zatížený konec)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7*d; 80 \text{ mm})$	112 mm
$a_{4,t}$ (zatížený okraj)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max((2+2*\sin \alpha)*d; 3*d)$	48 mm
$a_{4,c}$ (nezatížený okraj)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3*d$	48 mm

tabulka minimálních roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro svorníky

Rozteče a vzdálenosti od okrajů/konců	Úhel	Min rozteče nebo vzd od okrajů/konců	
a_1 (rovnoběžně s vlákny)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4+ \cos \alpha)*d$	80 mm
a_2 (kolmo na vlákna)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$4*d$	64 mm
$a_{3,t}$ (zatížený konec)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7*d; 80 \text{ mm})$	112 mm
$a_{4,t}$ (zatížený okraj)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max((2+2*\sin \alpha)*d; 3*d)$	48 mm
$a_{4,c}$ (nezatížený okraj)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3*d$	48 mm

tabulka nejmenších roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro vložený plech

rozměry desky

h	360 mm
t	5 mm

velikost otvoru

$d_0 = d + 1\text{mm}$ (svorník)	17 mm
$d_0 = d$ (kolík)	16 mm

	nejméně	
e_1 (vzdálenost od konce)	$1.2 * d_0$	19.2 mm
e_2 (vzdálenost od okraje)	$1.2 * d_0$	19.2 mm
p_1 (rozteč v podélném směru)	$2.2 * d_0$	35.2 mm
p_2 (rozteč v kolmém směru)	$2.4 * d_0$	38.4 mm

použité rozteče nebo vzdálenosti od okrajů/konců

a_1 (rovnoběžně s vlákny)	80 mm	e_1	20 mm
a_2 (kolmo na vlákna)	80 mm	e_2	20 mm
$a_{3,t}$ (zatížený konec)	120 mm	p_1	80 mm
a_4	60 mm	p_2	80 mm

třída spojovacího prostředku 6.8

f_y	480 N/mm ²
$f_{u,k}$	600 N/mm ²

4.6.3 Posouzení spojovacích prostředků

Podle ČSN-EN 1995-1-1.

Spoj dřevo - dřevo

hustota dřeva

ρ_k	385 kg/m ³	GL-24h
----------	-----------------------	--------

charakteristická hodnota plastického momentu únosnosti $M_{y,Rk}$

$$M_{y,Rk} = 0.3 * f_{u,k} * d^{2.6} = 0.3 * 600 * 16^{2.6} = 243\,212 \text{ Nmm}$$

charakteristická pevnost v otláčení ve dřevu $f_{h,k}$

$$f_{h,0,k} = 0.082 * (1 - 0.01 * d) * \rho_k = 0.082 * (1 - 0.01 * 16) * 385 = 26.52 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,\alpha,k,a} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} * \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{26.52}{1.59 * \sin^2 2.92 + \cos^2 2.92} = 26.48 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,\alpha,k,b} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} * \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{26.52}{1.59 * \sin^2 6.40 + \cos^2 6.40} = 26.33 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{90} = 1.35 + 0.015 * d = 1.35 + 0.015 * 16 = 1.59$$

pro dřevo jehličnatých dřevin

počet spojovacích prostředků pro výpočet

počet v řadě

$$n \quad 3 \quad \text{skutečný počet}$$

$$n_{ef} = \min \left\{ n^{0.9} * \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} = \min \left\{ 3^{0.9} * \sqrt[4]{\frac{80}{13 * 16}} = 2.12 \right. \right.$$

pro zatížení kolmo k vláknům

$$n_{ef} = n \quad 3$$

pro úhly $0^\circ < \alpha < 90^\circ$

$$\alpha \quad 2.92^\circ \quad \text{úhel odklonu od směru vláken}$$

$$n_{ef} = 2.12 + (3 - 2.12) * 2.92 * (1/90) = 2.15$$

počet řad

$$n_{\bar{r}} \quad 5$$

účinný počet spojovacích prostředků celkově ve směru síly

$$n_c = n_{ef} * n_{\bar{r}} = 2.15 * 5 = 10.73$$

celkový počet spojovacích prostředků

$$n_{celk} = n * n_{\bar{r}} = 3 * 5 = 15$$

Spoj ocel - dřevo

menší tloušťka dřevěného prvku

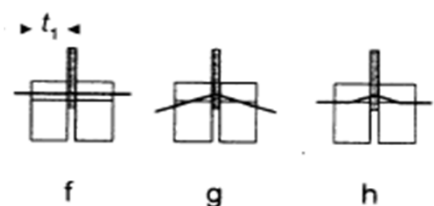
$$t_1 \quad 50 \text{ mm}$$

charakteristická únosnost na vytažení spojovacího prostředku

$$F_{ax,Rk} \quad 0 \text{ kN} \quad \text{síla je neznámá}$$

charakteristická únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{aligned} & f_{h,1,k} * t_1 * d * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} * d * t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ & 2.3 * \sqrt{M_{y,Rk} * f_{h,1,k}} * d + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{aligned} \right.$$



a) pro celý spoj

$$F_{v,Rk,1} = \min \left\{ \begin{array}{l} 26.48 * 50 * 16 * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * 243\,212}{26.48 * 16 * 50^2}} - 1 \right] + \frac{0}{4} \\ 2.3 * \sqrt{243\,212 * 26.48 * 16} + \frac{0}{4} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 21\,183\,N \\ 15\,005\,N \\ 23\,347\,N \end{array} \right\} = 15\,005\,N$$

b) pro nejzatíženější spojovací prostředek

$$F_{v,Rk,2} = \min \left\{ \begin{array}{l} 26.33 * 50 * 16 * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * 243\,212}{26.33 * 16 * 50^2}} - 1 \right] + \frac{0}{4} \\ 2.3 * \sqrt{243\,212 * 26.33 * 16} + \frac{0}{4} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 21\,061\,N \\ 14\,952\,N \\ 23\,279\,N \end{array} \right\} = 14\,952\,N$$

návrhová únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku

γ_M 1.25

k_{mod} 0.7

třída provozu 3

$$F_{v,Rd,1} = F_{v,Rk,1} * k_{mod} / \gamma_M = 15\,005 * 0.7 / 1.25 = 8\,403\,N$$

$$F_{v,Rd,2} = F_{v,Rk,2} * k_{mod} / \gamma_M = 14\,952 * 0.7 / 1.25 = 8\,373\,N$$

Návrhová únosnost spoje

počet spojovacích prostředků

$n_c - 1$ (svorník) 9.73

počet rovin stříhu

n_s 6

3x 2 stříhy

návrhová únosnost spoje

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd,1} * n_c * n_s = 8\,403 * 9.73 * 6 = 490\,414\,N$$

Posouzení spoje na stříh

$F_{v,Ed,a}$ 444.58 kN

$F_{v,Rd} > F_{v,Ed,a}$ 490.41 > 444.58 kN vyhovuje 90.65%

Posouzení nejzatíženějšího spojovacího prostředku

$$F_{v,Ed,b} \quad 5.75 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd,2} > F_{v,Ed,b} \quad 8.37 > 5.75 \text{ kN} \quad \text{vyhovuje} \quad 68.62\%$$

4.6.4 Posouzení ocelové desky

Podle ČSN-EN 1993-1-1 a ČSN-EN 1993-1-8.

1. Posouzení desky v otláčení (má menší pevnost než spojovací prostředky)

materiál desky a příslušné pevnosti

ocel S235

$$f_y \quad 235 \text{ MPa}$$

$$f_u \quad 360 \text{ MPa}$$

průřezové charakteristiky desky

$$h \quad 360 \text{ mm}$$

$$t \quad 5 \text{ mm}$$

$$A = h * t = 360 * 5 = 1\,800 \text{ mm}^2$$

$$A_{net} = (h - n_r * d_0) * t = (360 - 5 * 16) * 5 = 1\,400 \text{ mm}^2$$

velikost otvorů v desce

$$d_0 \quad 16 \text{ mm}$$

únosnost v otláčení

$$\gamma_{M2} \quad 1.25$$

1) ve směru zatížení

pro spojovací prostředky na konci

$$\alpha_d = e_1/3d_0 = 20 / (3 * 16) = 0.42$$

pro vnitřní spojovací prostředky

$$\alpha_d = p_1/3d_0 - 1/4 = 80 / (3 * 16) - 1/4 = 1.42$$

2) kolmo na směr zatížení

spojovací prostředky u okraje

$$k_1 = \min(2.8 * e_2/d_0 - 1.7; 2.5) = \min(2.8 * 20/16 - 1.7; 2.5) = 1.80$$

pro vnitřní spojovací prostředky

$$k_1 = \min(1.4 * p_2/d_0 - 1.7; 2.5) = \min(1.4 * 80/16 - 1.7; 2.5) = 2.50$$

$$\alpha_b = \min(\alpha_d; f_{ub}/f_u; 1) = \min(0.42; 600/360; 1) = 0.42$$

$$F_{b,Rd} = k_1 * a_b * f_u * d * t / \gamma_{M2} = 1.80 * 0.42 * 360 * 16 * 5 / 1.25 = 17\,280 \text{ N}$$

posouzení na únosnost v otláčení

Posudek se provádí se silou neredukovanou počtem stříhů.

$F_{b,Rd} > F/3$	17.28	>	11.49 kN	vyhovuje	66.49%
3 ocelové desky					

2. Posouzení na přenos vnitřních sil

N_{Ed}	444 kN	(tah)
----------	--------	-------

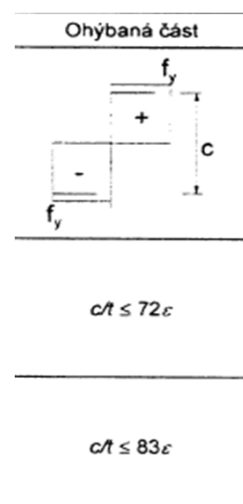
$V_{z,Ed}$	22.68 kN
------------	----------

$M_{y,Ed}$	7.45 kNm
------------	----------

zatřídění průřezu

není namáhání tlakem a zatřídění je proto pro ohyb

$c = h$	360 mm
t	5 mm
c/t	72
$\epsilon = (235/f_y)^{0.5}$	1.00



třída 1: $c/t = 72\epsilon$	72	=	72.00	vyhovuje
-----------------------------	----	---	-------	----------

Tah

$$N_{u,Rd} = 3 * 0.9 * A_{net} * f_u / \gamma_{M0} = 3 * 0.9 * 1\,400 * 360 / 1.00 = 1\,360\,800 \text{ N}$$

$N_{Ed}/N_{u,Rd} = 444 / 1\,360\,800 = 0.33 < 1.0$	vyhovuje	32.63%
--	----------	--------

Ohybový moment

statický moment poloviny průřezu k těžišťové ose y

$$S_y(A/2) = A/2 * z_c = 1\,800 / 2 * 90 = 900 * 90 = 81\,000 \text{ mm}^3$$

$$z_c = h/4 = 360 / 4 = 90 \text{ mm}$$

plastický průřezový modul

$$W_{pl} = 3 * 2 * S_y(A/2) = 3 * 2 * 81\,000 = 486\,000 \text{ mm}^3$$

posouzení

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl} * f_y / \gamma_{M0} = 486\,000 * 235 / 1.00 = 1.14 * 10^8 \text{ Nmm}$$

$$M_{y,Ed} < M_{c,Rd} \qquad \qquad \qquad \mathbf{7.45} \qquad < \qquad \mathbf{114.21 \text{ kNm}} \qquad \text{vyhovuje} \qquad \qquad 6.52\%$$

Smyk

smyková plocha

$$A_v = 3 * A = 3 * 1\,800 = 5\,400 \text{ mm}^2$$

posouzení

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_y}{\gamma_{M0} * \sqrt{3}} = \frac{5\,400 * 235}{1.00 * \sqrt{3}} = 732\,657 \text{ N}$$

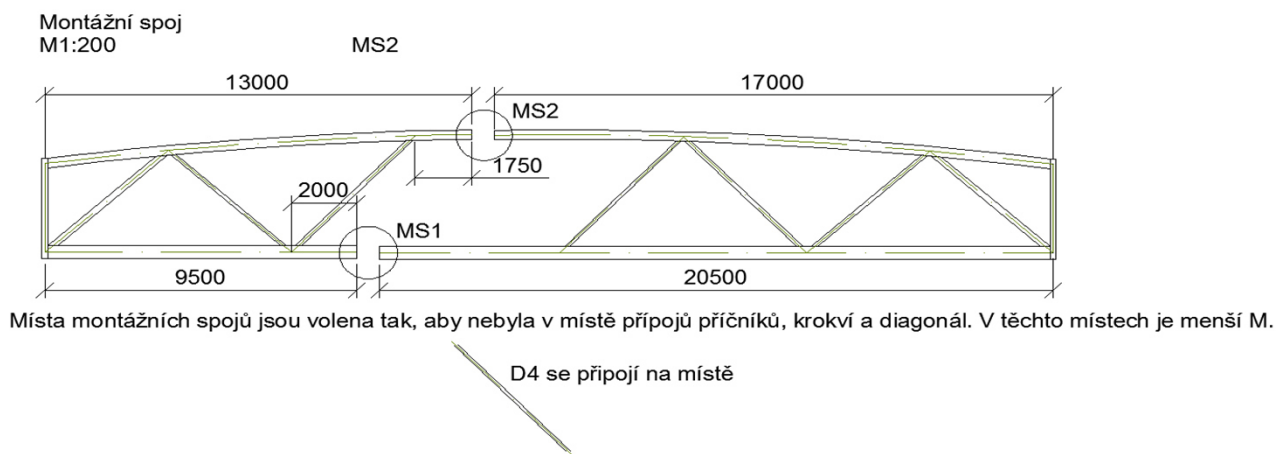
$$V_{z,Ed} < V_{pl,Rd} \qquad \qquad \qquad \mathbf{22.68} \qquad < \qquad \mathbf{732.66 \text{ kN}} \qquad \text{vyhovuje} \qquad \qquad 3.09\%$$

4.7 Montážní spoj horního pásu

Horní pás má půdorysnou délku 30 m. Možná délka je závislá na přepravních možnostech. Maximální možná délka prutu z lepeného lamelového dřeva se podle výrobců pohybuje kolem 24 m.

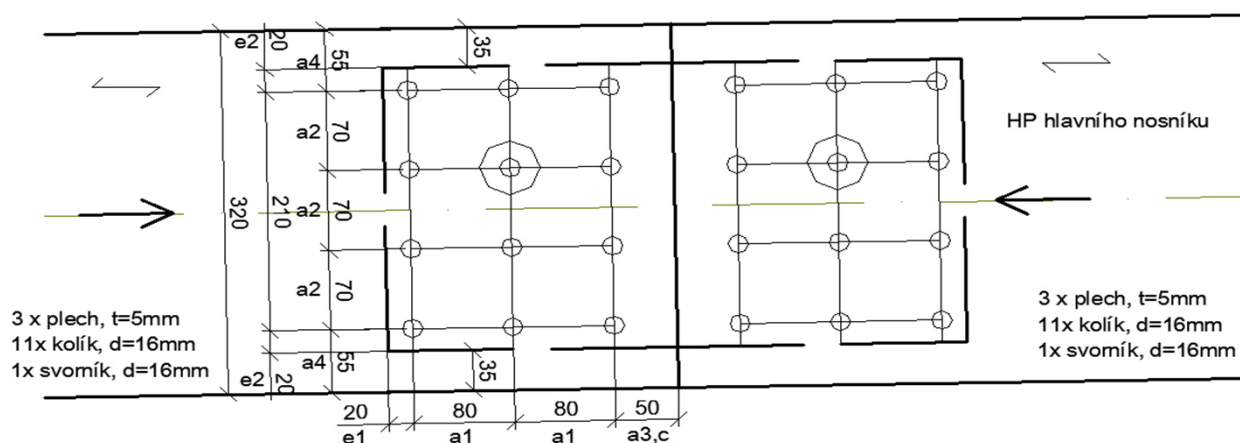
Spoj se nachází ve vzdálenosti 13 m. Horní pás je tedy rozdělen na délky 13 m a 17 m.

Spoj je proveden jako kolíkový se třemi ocelovými deskami, které jsou vloženy do zářezů v horním pásu. Jako mechanické spojovací prostředky jsou použity kolíky. Ty jsou namáhány na stříh.



4.7.1 Schéma a vnitřní síly

Schéma spoje

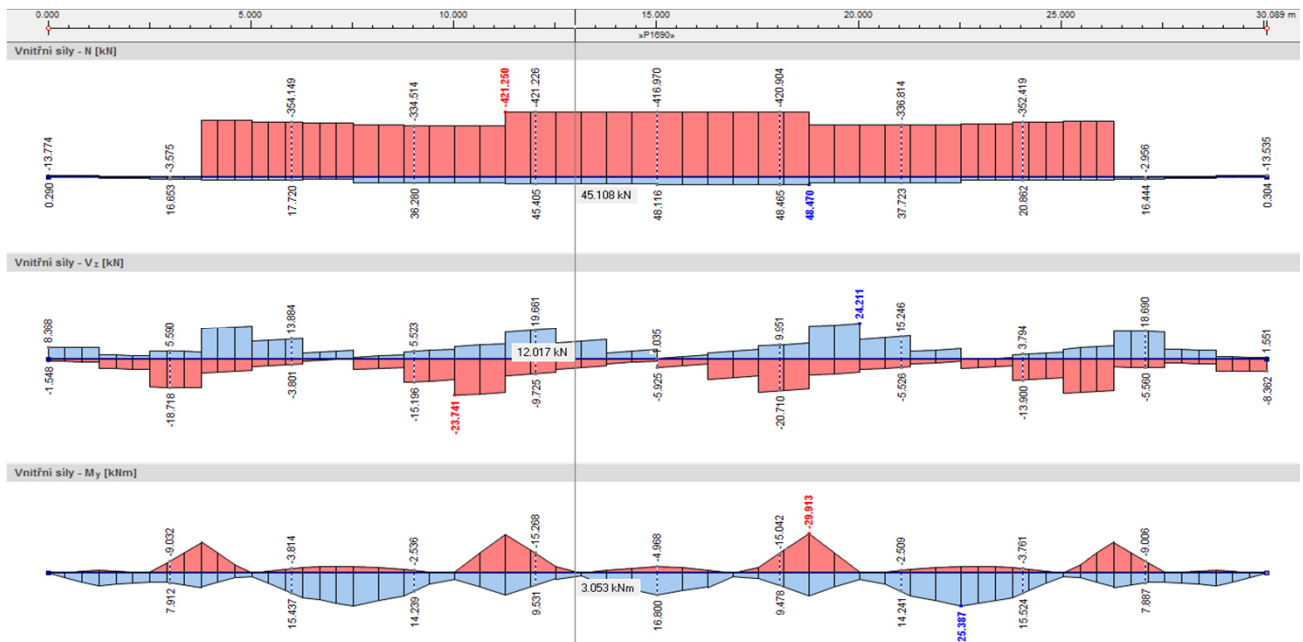


Oslabení průřezu

h	320 mm	b	220 mm
d (kolík)	16 mm	t (deska)	5 mm
n kolíků	4	n desek	3
$h_{net} = h - d \cdot n$	256 mm	$b_{net} = b - t \cdot n$	205 mm
		$A_{net} = h_{net} \cdot b_{net}$	52480 mm ²

Návrhové vnitřní síly v místě spoje

obálka vnitřních sil



N_{Ed}	421.00 kN	(tlak)
$V_{z,Ed}$	12.02 kN	
$M_{y,Ed}$	3.05 kNm	

4.7.2 Zatížení a geometrie spoje

Zatížení

1. zatížení $F_{v,Ed,a}$

stanovení zatížení z normálové a posouvací síly

$$F_{v,Ed,a} = \sqrt{N_{Ed}^2 + V_{z,Ed}^2} = \sqrt{421.00^2 + 12.02^2} = 421.17 \text{ kN}$$

úhel mezi silou a směrem vláken

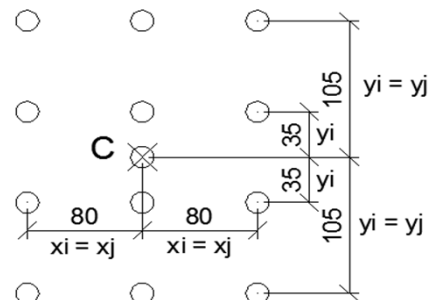
$$\alpha_a = \arctg(V_{z,Ed} / N_{Ed}) = \arctg(12.02 / 421.00) = 1.64^\circ$$

2. zatížení $F_{v,Ed,b}$

stanovení zatížení z momentu

$$F_{M,x} = M_{y,Ed} * y_j / (\Sigma(x_i^2 + y_i^2)) = 3.05 * 0.105 / ((6*0.035^2) + (6*0.105^2) + (8*0.08^2)) = 2.57 \text{ kN}$$

$$F_{M,y} = M_{y,Ed} * x_j / (\Sigma(x_i^2 + y_i^2)) = 3.05 * 0.08 / ((6*0.035^2) + (6*0.105^2) + (8*0.08^2)) = 1.96 \text{ kN}$$



stanovení zatížení z normálové a posouvací síly

$$F_N = N_{ed} / n = 421 / 12 = 35.08 \text{ kN}$$

$$F_V = V_{z,Ed} / n = 12.02 / 12 = 1.00 \text{ kN}$$

n 12

stanovení celkového zatížení

$$F = \sqrt{(F_{M,x} + F_N)^2 + (F_{M,y} + F_V)^2} = \sqrt{(2.57 + 35.08)^2 + (1.96 + 1.00)^2} = 37.77 \text{ kN}$$

$$F_{V,Ed,b} = F / 6 = 37.77 / 6 = 6.30 \text{ kN}$$

6 rovin stříhu

úhel mezi silou a směrem vláken

$$\alpha, b = \arctg((F_{M,y} + F_V) / (F_{M,x} + F_N)) = \arctg((1.96 + 1.00) / (2.57 + 35.08)) = 4.49^\circ$$

Geometrie spoje

průměr spojovacího prostředku

d 16 mm

tabulka minimálních roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro kolíky

<i>Rozteče a vzdálenosti od okrajů/konců</i>	<i>Úhel</i>	<i>Min rozteče nebo vzd od okrajů/konců</i>	
a_1 (rovnoběžně s vlákny)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(3+2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	80 mm
a_2 (kolmo na vlákna)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 \cdot d$	48 mm
$a_{3,t}$ (zatížený konec)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7 \cdot d; 80 \text{ mm})$	112 mm
$a_{3,c}$ (nezatížený konec)	$90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$	$\max(a_{3,t} \cdot \sin \alpha ; 3 \cdot d)$	48 mm
	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	$3 \cdot d$	48 mm
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$\max(a_{3,t} \cdot \sin \alpha ; 3 \cdot d)$	48 mm
$a_{4,t}$ (zatížený okraj)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max((2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 3 \cdot d)$	48 mm
$a_{4,c}$ (nezatížený okraj)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 \cdot d$	48 mm

tabulka minimálních roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro svorníky

<i>Rozteče a vzdálenosti od okrajů/konců</i>	<i>Úhel</i>	<i>Min rozteče nebo vzd od okrajů/konců</i>	
a_1 (rovnoběžně s vlákny)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4 + \cos \alpha) \cdot d$	80 mm
a_2 (kolmo na vlákna)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$4 \cdot d$	64 mm
$a_{3,t}$ (zatížený konec)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7 \cdot d; 80 \text{ mm})$	112 mm
$a_{3,c}$ (nezatížený konec)	$90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$	$\max((1 + 6 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 4 \cdot d)$	64 mm
	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	$4 \cdot d$	64 mm
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$\max((1 + 6 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 4 \cdot d)$	64 mm
$a_{4,t}$ (zatížený okraj)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max((2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 3 \cdot d)$	48 mm
$a_{4,c}$ (nezatížený okraj)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 \cdot d$	48 mm

tabulka nejmenších roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro vložený plech

rozměry desky

h	250 mm
t	5 mm

velikost otvoru

$d_0 = d + 1\text{mm}$ (svorník)	17 mm
$d_0 = d$ (kolík)	16 mm

	nejméně	
e_1 (vzdálenost od konce)	$1.2 * d_0$	19.2 mm
e_2 (vzdálenost od okraje)	$1.2 * d_0$	19.2 mm
p_1 (rozteč v podélném směru)	$2.2 * d_0$	35.2 mm
p_2 (rozteč v kolmém směru)	$2.4 * d_0$	38.4 mm

použité rozteče nebo vzdálenosti od okrajů/konců

a_1 (rovnoběžně s vlákny)	80 mm	e_1	20 mm
a_2 (kolmo na vlákna)	70 mm	e_2	20 mm
$a_{3,c}$ (nezatížený konec)	50 mm	p_1	80 mm
a_4	50 mm	p_2	70 mm

třída spojovacího prostředku 6.8

f_y	480 N/mm ²
$f_{u,k}$	600 N/mm ²

4.7.3 Posouzení spojovacích prostředků

Podle ČSN-EN 1995-1-1.

Spoj dřevo - dřevo

hustota dřeva

ρ_k	385 kg/m ³	GL-24h
----------	-----------------------	--------

charakteristická hodnota plastického momentu únosnosti $M_{y,Rk}$

$$M_{y,Rk} = 0.3 * f_{u,k} * d^{2.6} = 0.3 * 600 * 16^{2.6} = 243\,212 \text{ Nmm}$$

charakteristická pevnost v otlacení ve dřevu $f_{h,k}$

$$f_{h,0,k} = 0.082 * (1 - 0.01 * d) * \rho_k = 0.082 * (1 - 0.01 * 16) * 385 = 26.52 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,\alpha,k,a} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} * \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{26.52}{1.59 * \sin^2 1.64 + \cos^2 1.64} = 26.51 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,\alpha,k,b} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{26.52}{1.59 \cdot \sin^2 4.49 + \cos^2 4.49} = 26.42 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{90} = 1.35 + 0.015 \cdot d = 1.35 + 0.015 \cdot 16 = 1.59$$

pro dřevo jehličnatých dřevin

počet spojovacích prostředků pro výpočet

počet v řadě

n 3 skutečný počet

$$n_{ef} = \min \left\{ n^{0.9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} = \min \left\{ 3^{0.9} \cdot \sqrt[4]{\frac{80}{13 \cdot 16}} = 2.12 \right. \right.$$

pro zatížení kolmo k vláknům

$n_{ef} = n$ 3

pro úhly $0^\circ < \alpha < 90^\circ$

α 1.64 ° úhel odklonu od směru vláken

$$n_{ef} = 2.12 + (3 - 2.12) \cdot 1.64 \cdot (1/90) = 2.13$$

počet řad

$n_{\check{r}}$ 4

účinný počet spojovacích prostředků celkově ve směru síly

$$n_c = n_{ef} \cdot n_{\check{r}} = 2.13 \cdot 4 = 8.53$$

celkový počet spojovacích prostředků

$$n_{celk} = n \cdot n_{\check{r}} = 3 \cdot 4 = 12$$

Spoj ocel - dřevo

menší tloušťka dřevěného prvku

t_1 50 mm

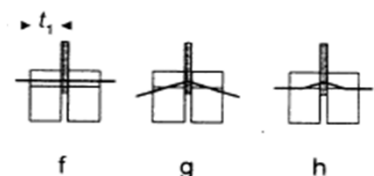
charakteristická únosnost na vytažení spojovacího prostředku

$F_{ax,Rk}$ 0 kN

síla je neznámá

charakteristická únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{aligned} & f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ & 2.3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{aligned} \right.$$



a) pro celý spoj

$$F_{v,Rk,1} = \min \left\{ \begin{array}{l} 26.52 * 50 * 16 * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * 243 * 212}{26.52 * 16 * 50^2}} - 1 \right] + \frac{0}{4} \\ 2.3 * \sqrt{243 * 212 * 26.52 * 16} + \frac{0}{4} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 21\,205\,N \\ 15\,015\,N \\ 23\,359\,N \end{array} \right\} = 15\,015\,N$$

b) pro nejzatíženější spojovací prostředek

$$F_{v,Rk,2} = \min \left\{ \begin{array}{l} 26.51 * 50 * 16 * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * 243 * 212}{26.51 * 16 * 50^2}} - 1 \right] + \frac{0}{4} \\ 2.3 * \sqrt{243 * 212 * 26.51 * 16} + \frac{0}{4} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 21\,138\,N \\ 14\,986\,N \\ 23\,322\,N \end{array} \right\} = 14\,986\,N$$

návrhová únosnost pro jeden střih jednoho spojovacího prostředku

γ_M 1.25

k_{mod} 0.9

třída provozu 2

$$F_{v,Rd,1} = F_{v,Rk,1} * k_{mod} / \gamma_M = 15\,015 * 0.9 / 1.25 = 10\,811\,N$$

$$F_{v,Rd,2} = F_{v,Rk,2} * k_{mod} / \gamma_M = 14\,986 * 0.9 / 1.25 = 10\,790\,N$$

Návrhová únosnost spoje

počet spojovacích prostředků

$n_c - 1$ (svorník) 7.53

počet rovin střihu

n_s 6

3x 2 střihy

návrhová únosnost spoje

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd,1} * n_c * n_s = 10\,811 * 7.53 * 6 = 488\,502\,N$$

Posouzení spoje na střih

$F_{v,Ed,a}$ 421.17 kN

$F_{v,Rd} > F_{v,Ed,a}$ **488.50** > **421.17 kN** vyhovuje 86.22%

Posouzení nejzatíženějšího spojovacího prostředku

$F_{v,Ed,b}$ 6.30 kN

$F_{v,Rd,2} > F_{v,Ed,b}$ **10.79** > **6.30 kN** vyhovuje 58.34%

4.7.4 Posouzení ocelové desky

Podle ČSN-EN 1993-1-1 a ČSN-EN 1993-1-8.

1. Posouzení desky v otláčení (má menší pevnost než spojovací prostředky)

materiál desky a příslušné pevnosti

ocel S235

f_y 235 MPa

f_u 360 MPa

průřezové charakteristiky desky

h 250 mm

t 5 mm

$$A = h * t = 250 * 5 = 1\,250 \text{ mm}^2$$

velikost otvorů v desce

d_0 16 mm

únosnost v otláčení

γ_{M2} 1.25

1) ve směru zatížení

pro spojovací prostředky na konci

$$\alpha_d = e_1/3d_0 = 20 / (3 * 16) = 0.42$$

pro vnitřní spojovací prostředky

$$\alpha_d = p_1/3d_0 - 1/4 = 80 / (3 * 16) - 1/4 = 1.42$$

2) kolmo na směr zatížení

spojovací prostředky u okraje

$$k_1 = \min(2.8 * e_2/d_0 - 1.7; 2.5) = \min(2.8 * 20/16 - 1.7; 2.5) = 1.80$$

pro vnitřní spojovací prostředky

$$k_1 = \min(1.4 * p_2/d_0 - 1.7; 2.5) = \min(1.4 * 70/16 - 1.7; 2.5) = 2.50$$

$$\alpha_b = \min(\alpha_d; f_{ub}/f_u; 1) = \min(0.42; 600/360; 1) = 0.42$$

$$F_{b,Rd} = k_1 * a_b * f_u * d * t / \gamma_{M2} = 1.80 * 0.42 * 360 * 16 * 5 / 1.25 = 17\,280 \text{ N}$$

posouzení na únosnost v otláčení

Posudek se provádí se silou neredukovanou počtem stříhů.

$F_{b,Rd} > F/3$	17.28	>	12.59 kN	vyhovuje	72.86%
3 ocelové desky					

2. Posouzení na přenos vnitřních sil

N_{Ed} 421 kN (tlak)

$V_{z,Ed}$ 12.02 kN

$M_{y,Ed}$ 3.05 kNm

zatřídění průřezu

namáhání je tlakem a průřez se zatřídí na tlak

$c = h$ 250 mm

t 5 mm

c/t 50

$\epsilon = (235/f_y)^{0.5}$ 1.00

třída 3: $c/t < 42\epsilon$ 50 > 42.00 Průřez je třídy 4.
odhad $A_{eff} = 0.5A$

Tlak

$N_{c,Rd} = 3 * 0.5 * A * f_y / \gamma_{M0} = 3 * 0.5 * 1\,250 * 235 / 1.00 = 440\,625$ N 3 ocelové plechy

$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 421 / 440.625 = 0.96 < 1.0$ vyhovuje 95.55%

Ohybový moment

statický moment poloviny průřezu k těžišťové ose y

$S_y(A/2) = A_{eff} / 2 * z_c = 625 / 2 * 62 = 19\,531$ mm³

$z_c = h/4 = 250 / 4 = 62.5$ mm

plastický průřezový modul

$W_{pl} = 3 * 2 * S_y(A/2) = 3 * 2 * 19\,531 = 117\,188$ mm³

posouzení

$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl} * f_y / \gamma_{M0} = 117\,188 * 235 / 1.00 = 2.75 * 10^7$ Nmm

$M_{y,Ed} < M_{c,Rd}$ 3.05 < 27.54 kNm vyhovuje 11.09%

Smyk

smyková plocha

$A_v = 3 * A_{eff} = 3 * 625 = 1\,875$ mm² 1875 mm²

posouzení

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_y}{\gamma_{M0} * \sqrt{3}} = \frac{1\,875 * 235}{1.00 * \sqrt{3}} = 254\,395$$
 N

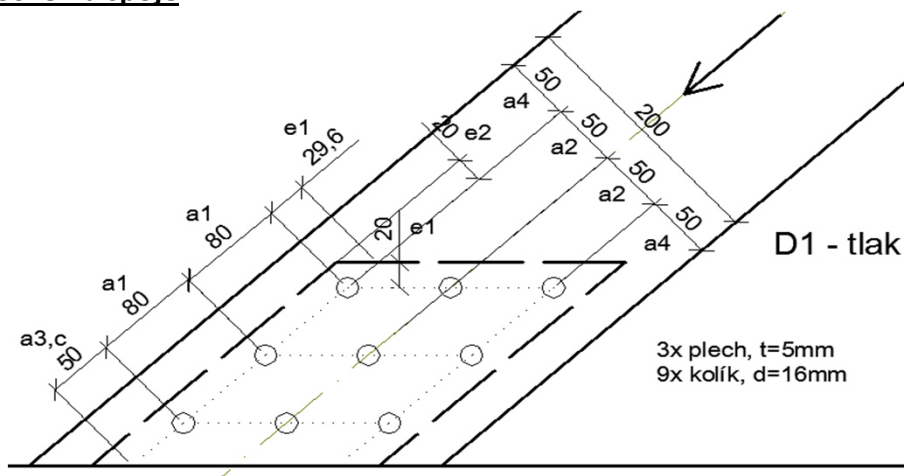
$V_{z,Ed} < V_{pl,Rd}$ 12.02 < 254.39 kN vyhovuje 4.72%

4.8 Připojení diagonály D1

Připoj je proveden jako kolíkový se třemi ocelovými deskami, které jsou vloženy do zářezů v diagonále.

4.8.1 Schéma a vnitřní síly

Schéma spoje



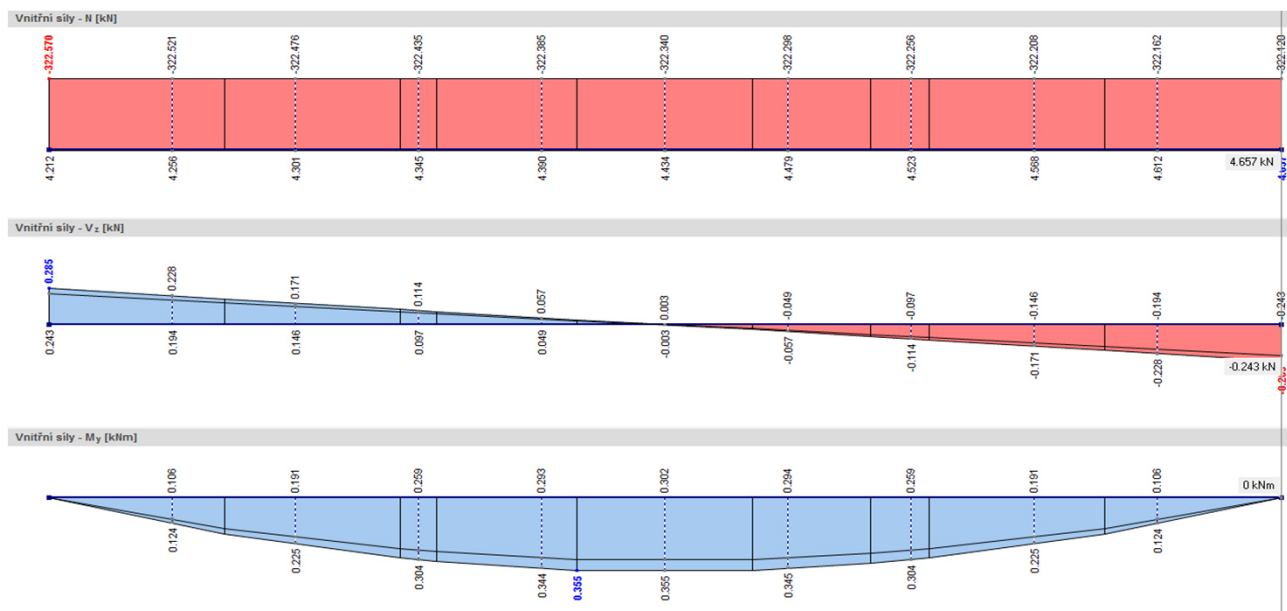
Oslabení průřezu

h	200 mm	b	220 mm
d (kolík)	16 mm	t (deska)	5 mm
n kolíků	1	n desek	3
$h_{net} = h - d * n$	184 mm	$b_{net} = b - t * n$	205 mm

$$A_{net} = h_{net} * b_{net} = 37720 \text{ mm}^2$$

Návrhové vnitřní síly v místě spoje

obálka vnitřních sil



N_{Ed}	322.52 kN	(tlak)	<i>Spoj je ve vzdálenosti 0.5 m od teor. styčníku.</i>
$V_{z,Ed}$	0.228 kN		
$M_{y,Ed}$	0.124 kNm	(kladný)	

4.8.2 Zatížení a geometrie spoje

Zatížení

1. zatížení $F_{v,Ed,a}$

stanovení zatížení z normálové a posouvací síly

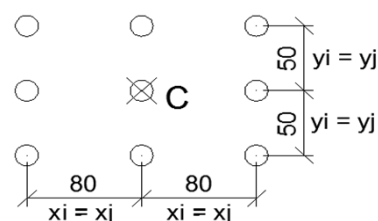
$$F_{v,Ed,a} = \sqrt{N_{Ed}^2 + V_{z,Ed}^2} = \sqrt{322.52^2 + 0.23^2} = 322.52 \text{ kN}$$

úhel mezi silou a směrem vláken

$$\alpha = \arctg(V_{z,Ed} / N_{Ed}) = \arctg(0.23 / 322.52) = 0.04^\circ$$

2. zatížení $F_{v,Ed,b}$

stanovení zatížení z momentu



$$F_{M,x} = M_{y,Ed} * y_j / (\Sigma(x_i^2 + y_i^2)) = 0.124 * 0.05 / ((6*0.05^2) + (6*0.08^2)) = 0.12 \text{ kN}$$

$$F_{M,y} = M_{y,Ed} * x_j / (\Sigma(x_i^2 + y_i^2)) = 0.124 * 0.08 / ((6*0.05^2) + (6*0.08^2)) = 0.19 \text{ kN}$$

stanovení zatížení z normálové a posouvací síly

$$F_N = N_{ed} / n = 322.52 / 9 = 35.84 \text{ kN}$$

$$F_V = V_{z,Ed} / n = 0.228 / 9 = 0.03 \text{ kN}$$

$$n = 9$$

stanovení celkového zatížení

$$F = \sqrt{(F_{M,x} + F_N)^2 + (F_{M,y} + F_V)^2} = \sqrt{(0.12 + 35.84)^2 + (0.19 + 0.03)^2} = 35.95 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed,b} = F / 6 = 35.95 / 6 = 5.99 \text{ kN}$$

6 rovin stříhu

úhel mezi silou a směrem vláken

$$\alpha = \arctg((F_{M,y} + F_V) / (F_{M,x} + F_N)) = \arctg((0.19 + 0.03) / (0.12 + 35.84)) = 0.34^\circ$$

Geometrie spoje

průměr spojovacího prostředku

$$d = 16 \text{ mm}$$

tabulka minimálních roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro kolíky

Rozteče a vzdálenosti od okrajů/konců	Úhel	Min rozteče nebo vzd od okrajů/konců	
a_1 (rovnoběžně s vlákny)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(3+2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	80 mm
a_2 (kolmo na vlákna)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 \cdot d$	48 mm
$a_{3,t}$ (zatížený konec)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7 \cdot d; 80 \text{ mm})$	112 mm
$a_{3,c}$ (nezatížený konec)	$90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$	$\max(a_{3,t} \cdot \sin \alpha ; 3 \cdot d)$	48 mm
	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	$3 \cdot d$	48 mm
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$\max(a_{3,t} \cdot \sin \alpha ; 3 \cdot d)$	48 mm
$a_{4,t}$ (zatížený okraj)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max(2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 3 \cdot d$	48 mm
$a_{4,c}$ (nezatížený okraj)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 \cdot d$	48 mm

tabulka nejmenších roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro vložený plech

rozměry desky

h	140 mm
t	5 mm

velikost otvoru

$d_0 = d$ (kolík)	16 mm
-------------------	-------

	nejméně	
e_1 (vzdálenost od konce)	$1.2 \cdot d_0$	19.2 mm
e_2 (vzdálenost od okraje)	$1.2 \cdot d_0$	19.2 mm
p_1 (rozteč v podélném směru)	$2.2 \cdot d_0$	35.2 mm
p_2 (rozteč v kolmém směru)	$2.4 \cdot d_0$	38.4 mm

použité rozteče nebo vzdálenosti od okrajů/konců

a_1 (rovnoběžně s vlákny)	80 mm	e_1	20 mm
a_2 (kolmo na vlákna)	50 mm	e_2	20 mm
$a_{3,c}$ (nezatížený konec)	50 mm	p_1	80 mm
a_4	50 mm	p_2	50 mm

třída spojovacího prostředku 6.8

f_y	480 N/mm ²
$f_{u,k}$	600 N/mm ²

4.8.3 Posouzení spojovacích prostředků

Podle ČSN-EN 1995-1-1.

Spoj dřevo - dřevo

hustota dřeva

ρ_k 385 kg/m³ GL-24h

charakteristická hodnota plastického momentu únosnosti $M_{y,Rk}$

$$M_{y,Rk} = 0.3 * f_{u,k} * d^{2.6} = 0.3 * 600 * 16^{2.6} = 243\,212 \text{ Nmm}$$

charakteristická pevnost v otláčení ve dřevu $f_{h,k}$

$$f_{h,0,k} = 0.082 * (1 - 0.01 * d) * \rho_k = 0.082 * (1 - 0.01 * 16) * 385 = 26.52 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,\alpha,k,a} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} * \sin^2\alpha + \cos^2\alpha} = \frac{26.52}{1.59 * \sin^2 0.04 + \cos^2 0.04} = 26.52 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,\alpha,k,b} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} * \sin^2\alpha + \cos^2\alpha} = \frac{26.52}{1.59 * \sin^2 0.34 + \cos^2 0.34} = 26.52 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{90} = 1.35 + 0.015 * d = 1.35 + 0.015 * 16 = 1.59$$

pro dřevo jehličnatých dřevin

počet spojovacích prostředků pro výpočet

počet v řadě

n 3 skutečný počet

$$n_{ef} = \min \left\{ n^{0.9} * \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} = \min \left\{ 3^{0.9} * \sqrt[4]{\frac{80}{13 * 16}} = 2.12 \right. \right.$$

pro zatížení kolmo k vláknům

$n_{ef} = n$ 3

pro úhly $0^\circ < \alpha < 90^\circ$

α 0.04 ° úhel odklonu od směru vláken
 n_{ef} 2.12

počet řad

$n_{\check{r}}$ 3

účinný počet spojovacích prostředků celkově ve směru síly

$$n_c = n_{ef} * n_{\bar{r}} = 2.12 * 3 = 6.35$$

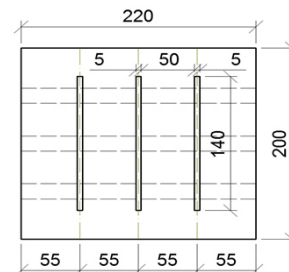
celkový počet spojovacích prostředků

$$n_{celk} = n * n_{\bar{r}} = 3 * 3 = 9$$

Spoj ocel - dřevo

nejmenší tloušťka dřevěného prvku

$$t_1 = 50 \text{ mm}$$



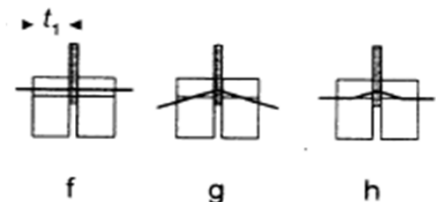
charakteristická únosnost na vytažení spojovacího prostředku

$$F_{ax,Rk} = 0 \text{ kN}$$

síla je neznámá

charakteristická únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{aligned} & f_{h,1,k} * t_1 * d * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} * d * t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ & 2.3 * \sqrt{M_{y,Rk} * f_{h,1,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{aligned} \right.$$



a) pro celý spoj

$$F_{v,Rk,1} = \min \left\{ \begin{aligned} & 26.52 * 50 * 16 * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * 243\,212}{26.52 * 16 * 50^2}} - 1 \right] + \frac{0}{4} \\ & 2.3 * \sqrt{243\,212 * 26.52 * 16} + \frac{0}{4} \end{aligned} \right. = \min \begin{cases} 21\,215 \text{ N} \\ 15\,019 \text{ N} \\ 23\,365 \text{ N} \end{cases} = 15\,019 \text{ N}$$

b) pro nejzatíženější spojovací prostředek

$$F_{v,Rk,2} = \min \left\{ \begin{aligned} & 26.52 * 50 * 16 * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * 243\,212}{26.52 * 16 * 50^2}} - 1 \right] + \frac{0}{4} \\ & 2.3 * \sqrt{243\,212 * 26.52 * 16} + \frac{0}{4} \end{aligned} \right. = \min \begin{cases} 21\,215 \text{ N} \\ 15\,019 \text{ N} \\ 23\,364 \text{ N} \end{cases} = 15\,019 \text{ N}$$

návrhová únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku

$$\gamma_M = 1.25$$

$$k_{mod} = 0.9$$

třída provozu 2

$$F_{v,Rd,1} = F_{v,Rk,1} * k_{mod} / \gamma_M = 15\,019 * 0.9 / 1.25 = 10\,814 \text{ N}$$

$$F_{v,Rd,2} = F_{v,Rk,2} * k_{mod} / \gamma_M = 15\,019 * 0.9 / 1.25 = 10\,814 \text{ N}$$

Návrhová únosnost spoje

počet spojovacích prostředků

n_c 6.35

počet rovin střihu

n_s 6 3x 2 střihy

návrhová únosnost spoje

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd,1} * n_c * n_s = 10\,814 * 6.35 * 6 = 412\,102 \text{ N}$$

Posouzení spoje na střih

$F_{v,Ed,a}$ 322.52 kN

$F_{v,Rd} > F_{v,Ed,a}$ 412.10 > 322.52 kN vyhovuje 78.26%

Posouzení nejzatíženějšího spojovacího prostředku

$F_{v,Ed,b}$ 5.99 kN

$F_{v,Rd,2} > F_{v,Ed,b}$ 10.81 > 5.99 kN vyhovuje 55.41%

4.8.4 Posouzení ocelové desky

Podle ČSN-EN 1993-1-1 a ČSN-EN 1993-1-8.

1. Posouzení desky v otláčení (má menší pevnost než spojovací prostředky)

materiál desky a příslušné pevnosti

ocel S235

f_y 235 MPa

f_u 360 MPa

průřezové charakteristiky desky

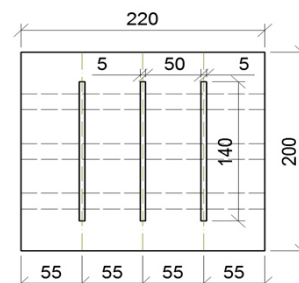
h 140 mm

t 5 mm

$A = h * t$ 700 mm²

velikost otvorů v desce

d_0 16 mm



únosnost v otláčení

γ_{M2} 1.25

1) ve směru zatížení

pro spojovací prostředky na konci

$$\alpha_d = e_1/3d_0 = 20 / (3 \cdot 16) = 0.42$$

pro vnitřní spojovací prostředky

$$\alpha_d = p_1/3d_0 - 1/4 = 80 / (3 \cdot 16) - 1/4 = 1.42$$

2) kolmo na směr zatížení

spojovací prostředky u okraje

$$k_1 = \min(2.8 \cdot e_2/d_0 - 1.7; 2.5) = \min(2.8 \cdot 20/16 - 1.7; 2.5) = 1.80$$

pro vnitřní spojovací prostředky

$$k_1 = \min(1.4 \cdot p_2/d_0 - 1.7; 2.5) = \min(1.4 \cdot 50/16 - 1.7; 2.5) = 2.50$$

$$\alpha_b = \min(\alpha_d; f_{ub}/f_u; 1) = \min(0.42; 600/360; 1) = 0.42$$

$$F_{b,Rd} = k_1 \cdot a_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = 1.80 \cdot 0.42 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 5 / 1.25 = 17\,280 \text{ N}$$

posouzení na únosnost v otláčení

Posudek se provádí se silou neredukovanou počtem stříhů.

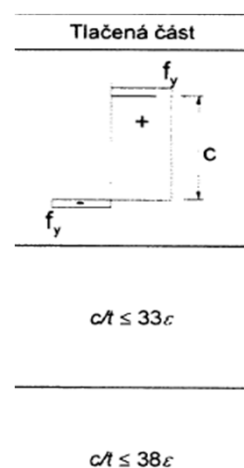
$F_{b,Rd} > F/3$ **17.28** > **11.98 kN** vyhovuje 69.35%
3 ocelové desky

2. Posouzení na přenos vnitřních sil

N_{Ed} 322.52 kN (tlak)
 $V_{z,Ed}$ 0.23 kN
 $M_{y,Ed}$ 0.12 kNm

zatřídění průřezu

$c = h$ 140 mm
 t 5 mm
 c/t 28
 $\epsilon = (235/f_y)^{0.5}$ 1.00



třída 1: $c/t < 33\epsilon$ 28 < 33.00 vyhovuje

Tlak

$$N_{c,Rd} = 3 * A * f_y / \gamma_{M0} = 3 * 700 * 235 / 1.00 = 493\,500 \text{ N}$$

3 ocelové plechy

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 322.52 / 493.50 = 0.65 < 1.0$$

vyhovuje

65.35%

Ohybový moment

statický moment poloviny průřezu k těžišťové ose y

$$S_y(A/2) = A/2 * z_c = 700 / 2 * 35 = 12\,250 \text{ mm}^3$$

$$z_c = h/4 = 140 / 4 = 35 \text{ mm}$$

plastický průřezový modul

$$W_{pl} = 3 * 2 * S_y(A/2) = 3 * 2 * 12\,250 = 73\,500 \text{ mm}^3$$

3 ocelové plechy

posouzení

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl} * f_y / \gamma_{M0} \quad 17272500 \text{ Nmm}$$

$$M_{y,Ed} < M_{c,Rd}$$

0.12

<

17.3 kNm

vyhovuje

0.72%

Smyk

smyková plocha

$$A_v = 3 * A = 3 * 700 = 2\,100 \text{ mm}^2$$

3 ocelové plechy

posouzení

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_y}{\gamma_{M0} * \sqrt{3}} = \frac{2\,100 * 235}{1.00 * \sqrt{3}} = 284\,922 \text{ N}$$

$$V_{z,Ed} < V_{pl,Rd}$$

0.23

<

284.9 kN

vyhovuje

0.08%

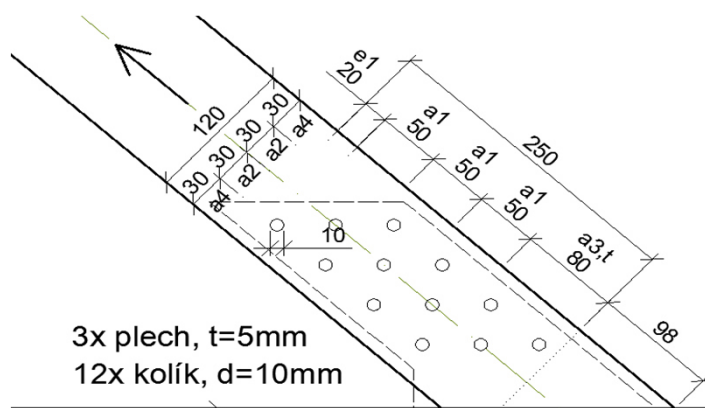
4.9 Připojení diagonály D2

4.9.1 Návrh spoje v diagonále

Přípoj je proveden jako kolíkový se třemi ocelovými deskami, které jsou vloženy do zářezů v diagonále.

4.9.1.1 Schéma a vnitřní síly

Schéma spoje



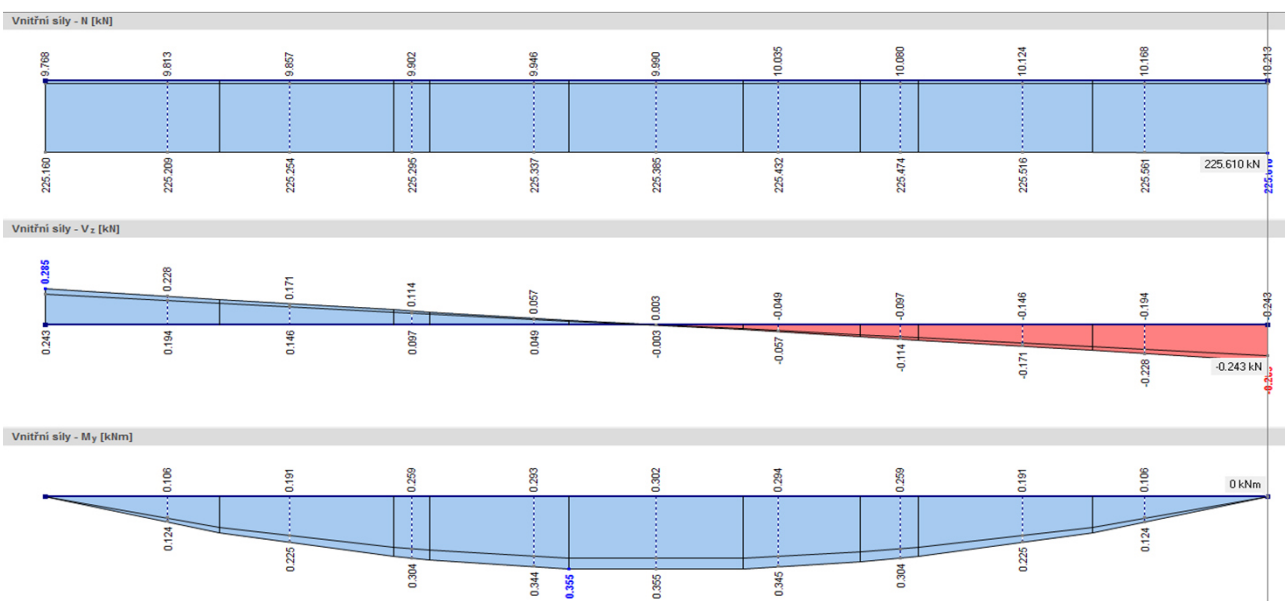
Oslabení průřezu

h	120 mm	b	220 mm
d (kolík)	10 mm	t (deska)	5 mm
n kolíků	1	n desek	3
$h_{\text{net}} = h - d * n$	110 mm	$b_{\text{net}} = b - t * n$	205 mm

$$A_{\text{net}} = h_{\text{net}} * b_{\text{net}} \quad 22550 \text{ mm}^2$$

Návrhové vnitřní síly v místě spoje

obálka vnitřních sil



N_{Ed}	225.21 kN	(tah)	<i>Spoj je ve vzdálenosti 0.5 m od teoretického styčnicku.</i>
$V_{z,Ed}$	0.228 kN		
$M_{y,Ed}$	0.124 kNm	(kladný)	

4.9.1.2 Zatížení a geometrie spoje

Zatížení

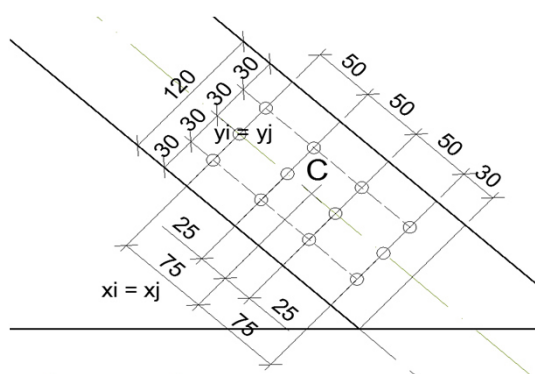
1.zatížení $F_{v,Ed}$

stanovení zatížení z normálové a posouvací síly

$$F_{v,Ed,a} = \sqrt{N_{Ed}^2 + V_{z,Ed}^2} = \sqrt{225.21^2 + 0.228^2} = 225.21 \text{ kN}$$

úhel mezi silou a směrem vláken

$$\alpha = \text{arctg} (V_{z_{\text{Fd}}} / N_{\text{Fd}}) = \text{arctg} (0.228 / 225.21) = 0.06^\circ$$



2.zatížení $F_{v,Ed,b}$

stanovení zatížení z momentu

$$F_{M,x} = M_{y,Ed} * y_i / (\Sigma(x_i^2 + y_i^2)) = 0.124 * 0.03 / ((6*0.075^2) + (6*0.025^2) + (8*0.03^2)) = 0.08 \text{ kN}$$

$$F_{M,y} = M_{y,Ed} * x_i / (\sum(x_i^2 + y_i^2)) = 0.124 * 0.075 / ((6*0.075^2)+(6*0.025^2)+(8*0.03^2)) = 0.21 \text{ kN}$$

stanovení zatížení z normálové a posouvací síly

$$F_N = N_{ed} / n = 225.21 / 12 = 18.77 \text{ kN}$$

$$F_V = V_{z.Ed} / n = 0.228 / 12 = 0.02 \text{ kN}$$

n 12

stanovení celkového zatížení

$$F = \sqrt{(F_{M_x} + F_N)^2 + (F_{M_y} + F_V)^2} = \sqrt{(0.08 + 18.77)^2 + (0.21 + 0.02)^2} = 18.85 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed,b} = F / 6 = 18.85 / 6 = 3.14 \text{ kN} \quad 6 \text{ rovin stříhu}$$

úhel mezi silou a směrem vláken

$$\alpha = \text{acrtg} ((F_{M,Y} + F_V) / (F_{M,X} + F_N)) = \text{acrtg} ((0.21 + 0.02) / (0.08 + 18.77)) = 0.69^\circ$$

Geometrie spoje

průměr spojovacího prostředku

d 10 mm

tabulka minimálních roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro kolíky

Rozteče a vzdálenosti od okrajů/konců	Úhel	Min rozteče nebo vzd od okrajů/konců	
a_1 (rovnoběžně s vlákny)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(3+2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	50 mm
a_2 (kolmo na vlákna)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 \cdot d$	30 mm
$a_{3,t}$ (zatížený konec)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7 \cdot d; 80 \text{ mm})$	80 mm
$a_{3,c}$ (nezatížený konec)	$90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$	$\max(a_{3,t} \cdot \sin \alpha ; 3 \cdot d)$	30 mm
	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	$3 \cdot d$	30 mm
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$\max(a_{3,t} \cdot \sin \alpha ; 3 \cdot d)$	30 mm
$a_{4,t}$ (zatížený okraj)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max((2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 3 \cdot d)$	30 mm
$a_{4,c}$ (nezatížený okraj)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 \cdot d$	30 mm

tabulka nejmenších roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro vložený plech

rozměry desky

h	100 mm
t	5 mm

velikost otvoru

$d_0 = d$ (kolík)	10 mm
-------------------	-------

	nejméně	
e_1 (vzdálenost od konce)	$1.2 \cdot d_0$	12 mm
e_2 (vzdálenost od okraje)	$1.2 \cdot d_0$	12 mm
p_1 (rozteč v podélném směru)	$2.2 \cdot d_0$	22 mm
p_2 (rozteč v kolmém směru)	$2.4 \cdot d_0$	24 mm

použité rozteče nebo vzdálenosti od okrajů/konců

a_1 (rovnoběžně s vlákny)	50 mm	e_1	20 mm
a_2 (kolmo na vlákna)	30 mm	e_2	20 mm
$a_{3,t}$ (zatížený konec)	80 mm	p_1	50 mm
a_4	30 mm	p_2	30 mm

třída spojovacího prostředku

6.8

f_y	480 N/mm ²
$f_{u,k}$	600 N/mm ²

4.9.1.3 Posouzení spojovacích prostředků

Podle ČSN-EN 1995-1-1.

Spoj dřevo - dřevo

hustota dřeva

ρ_k 385 kg/m³ GL-24h

charakteristická hodnota plastického momentu únosnosti $M_{y,Rk}$

$$M_{y,Rk} = 0.3 * f_{u,k} * d^{2.6} = 0.3 * 600 * 10^{2.6} = 71\,659 \text{ Nmm}$$

charakteristická pevnost v otláčení ve dřevu $f_{h,k}$

$$f_{h,0,k} = 0.082 * (1 - 0.01 * d) * \rho_k = 0.082 * (1 - 0.01 * 10) * 385 = 28.41 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,\alpha,k,a} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} * \sin^2\alpha + \cos^2\alpha} = \frac{28.41}{1.50 * \sin^2 0.06 + \cos^2 0.06} = 28.41 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,\alpha,k,b} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} * \sin^2\alpha + \cos^2\alpha} = \frac{28.41}{1.50 * \sin^2 0.69 + \cos^2 0.69} = 28.41 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{90} = 1.35 + 0.015 * d = 1.35 + 0.015 * 10 = 1.50$$

pro dřevo jehličnatých dřevin

počet spojovacích prostředků pro výpočet

počet v řadě

n 4 skutečný počet

$$n_{ef} = \min \left\{ n^{0.9} * \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} = \min \left\{ 4^{0.9} * \sqrt[4]{\frac{50}{13 * 10}} = 2.74 \right. \right.$$

pro zatížení kolmo k vláknům

$n_{ef} = n$ 4

pro úhly $0^\circ < \alpha < 90^\circ$

α 0.06 ° úhel odklonu od směru vláken
 n_{ef} 2.74

počet řad

$n_{\check{r}}$ 3

účinný počet spojovacích prostředků celkově ve směru síly

$$n_c = n_{ef} * n_{\bar{r}} = 2.74 * 3 = 8.23$$

celkový počet spojovacích prostředků

$$n_{celk} = n * n_{\bar{r}} = 4 * 3 = 12$$

Spoj ocel - dřevo

nejmenší tloušťka dřevěného prvku

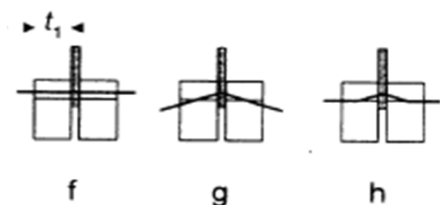
$$t_1 \quad 50 \text{ mm}$$

charakteristická únosnost na vytažení spojovacího prostředku

$$F_{ax,Rk} \quad 0 \text{ kN} \quad \text{síla je neznámá}$$

charakteristická únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} * t_1 * d * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} * d * t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2.3 * \sqrt{M_{y,Rk} * f_{h,1,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$



a) pro celý spoj

$$F_{v,Rk,1} = \min \left\{ \begin{array}{l} 28.41 * 50 * 10 * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * 71\,659}{28.41 * 10 * 50^2}} - 1 \right] + \frac{0}{4} \\ 2.3 * \sqrt{71\,659 * 28.41 * 10} + \frac{0}{4} \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} 14\,206 \text{ N} \\ 7\,818 \text{ N} \\ 10\,378 \text{ N} \end{array} \right. = 7\,818 \text{ N}$$

b) pro nejzatíženější spojovací prostředek

$$F_{v,Rk,2} = \min \left\{ \begin{array}{l} 28.41 * 50 * 10 * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * 71\,659}{28.41 * 10 * 50^2}} - 1 \right] + \frac{0}{4} \\ 2.3 * \sqrt{71\,659 * 28.41 * 10} + \frac{0}{4} \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} 14\,205 \text{ N} \\ 7\,818 \text{ N} \\ 10\,378 \text{ N} \end{array} \right. = 7\,818 \text{ N}$$

návrhová únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku

$$\begin{array}{ll} \gamma_M & 1.25 \\ k_{mod} & 0.9 \end{array} \quad \text{třída provozu 2}$$

$$F_{v,Rd,1} = F_{v,Rk,1} * k_{mod} / \gamma_M = 7\,818 * 0.9 / 1.25 = 5\,629 \text{ N}$$

$$F_{v,Rd,2} = F_{v,Rk,2} * k_{mod} / \gamma_M = 7\,818 * 0.9 / 1.25 = 5\,629 \text{ N}$$

Návrhová únosnost spoje

počet spojovacích prostředků

$$n_c = 8.23$$

počet rovin stříhu

$$n_s = 6 \quad 3 \times 2 \text{ stříhy}$$

návrhová únosnost spoje

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd,1} * n_c * n_s = 5\,629 * 8.23 * 6 = 277\,943 \text{ N}$$

Posouzení spoje na stříh

$$F_{v,Ed,a} = 225.21 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} > F_{v,Ed,a} \quad 277.94 > 225.21 \text{ kN} \quad \text{vyhovuje} \quad 81.03\%$$

Posouzení nejzatíženějšího spojovacího prostředku

$$F_{v,Ed,b} = 3.14 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd,2} > F_{v,Ed,b} \quad 5.63 > 3.14 \text{ kN} \quad \text{vyhovuje} \quad 55.82\%$$

4.9.1.4 Posouzení ocelové desky

Podle ČSN-EN 1993-1-1 a ČSN-EN 1993-1-8.

1. Posouzení desky v otlacení (má menší pevnost než spojovací prostředky)

materiál desky a příslušné pevnosti

ocel S235

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$f_u = 360 \text{ MPa}$$

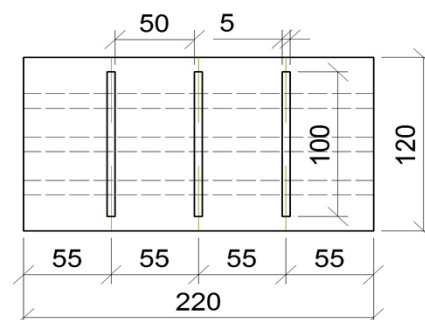
průřezové charakteristiky desky

$$h = 100 \text{ mm}$$

$$t = 5 \text{ mm}$$

$$A = h * t = 100 * 5 = 500 \text{ mm}^2$$

$$A_{net} = (h - n_f * d_0) * t = (100 - 3 * 10) * 5 = 350 \text{ mm}^2$$



velikost otvorů v desce

d_0 10 mm

únosnost v otláčení

γ_{M2} 1.25

1) ve směru zatížení

pro spojovací prostředky na konci

$$\alpha_d = e_1/3d_0 = 20 / (3 * 10) = 0.67$$

pro vnitřní spojovací prostředky

$$\alpha_d = p_1/3d_0 - 1/4 = 50 / (3 * 10) - 1/4 = 1.42$$

2) kolmo na směr zatížení

spojovací prostředky u okraje

$$k_1 = \min(2.8 * e_2/d_0 - 1.7; 2.5) = \min(2.8 * 20 / 10 - 1.7; 2.5) = 2.50$$

pro vnitřní spojovací prostředky

$$k_1 = \min(1.4 * p_2/d_0 - 1.7; 2.5) = \min(1.4 * 30 / 10 - 1.7; 2.5) = 2.50$$

$$\alpha_b = \min(\alpha_d; f_{ub}/f_u; 1) = \min(0.67; 600/360; 1) = 0.67$$

$$F_{b,Rd} = k_1 * a_b * f_u * d * t / \gamma_{M2} = 2.50 * 0.67 * 360 * 10 * 5 / 1.25 = 24\,000 \text{ N}$$

posouzení na únosnost v otláčení

Posudek se provádí se silou neredukovanou počtem stříhů.

$$F_{b,Rd} > F/3 \quad 24.00 > 6.28 \text{ kN} \quad \text{vyhovuje} \quad 26.18\%$$

3 ocelové desky

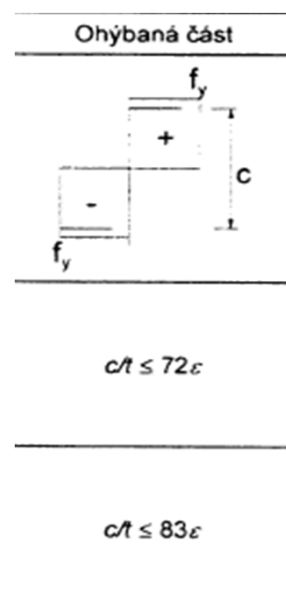
2. Posouzení na přenos vnitřních sil

N_{Ed}	225.21 kN	(tah)
$V_{z,Ed}$	0.23 kN	
$M_{y,Ed}$	0.12 kNm	(kladný)

zatřídění průřezu

není namáhání tlakem a zatřídění je proto pro ohyb

$c = h$	100 mm
t	5 mm
c/t	20
$\epsilon = (235/f_y)^{0.5}$	1.00



třída 1: $c/t < 72\epsilon$ 20 < 72.00 vyhovuje

Tah

$$N_{u,Rd} = 3 * 0.9 * A_{net} * f_u / \gamma_{M0} = 3 * 0.9 * 350 * 360 / 1.00 = 340\,200 \text{ N} \quad 3 \text{ ocelové plechy}$$

$$N_{Ed}/N_{u,Rd} = 225.21 / 340.20 = 0.66 < 1.0 \quad \text{vyhovuje} \quad 66.20\%$$

Ohybový moment

statický moment poloviny průřezu k těžišťové ose y

$$S_y(A/2) = A/2 * z_c = 500 / 2 * 25 = 6\,250 \text{ mm}^3$$

$$z_c = h/4 = 100 / 4 = 25 \text{ mm}$$

plastický průřezový modul

$$W_{pl} = 3 * 2 * S_y(A/2) = 3 * 2 * 6\,250 = 37\,500 \text{ mm}^3 \quad 3 \text{ ocelové plechy}$$

posouzení

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl} * f_y / \gamma_{M0} = 37\,500 * 235 / 1.00 = 8\,812\,500 \text{ Nmm}$$

$$M_{y,Ed} < M_{c,Rd} \quad \mathbf{0.12} \quad < \quad \mathbf{8.81 \text{ kNm}} \quad \text{vyhovuje} \quad 1.41\%$$

Smyk

smyková plocha

$$A_v = 3 * A = 3 * 500 = 1\,500 \text{ mm}^2 \quad 3 \text{ ocelové plechy}$$

posouzení

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_y}{\gamma_{M0} * \sqrt{3}} = \frac{1\,500 * 235}{1.00 * \sqrt{3}} = 203\,516 \text{ N}$$

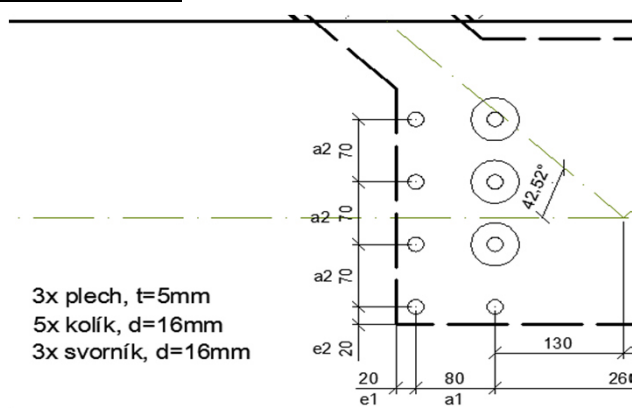
$$V_{z,Ed} < V_{pl,Rd} \quad \mathbf{0.23} \quad < \quad \mathbf{203.52 \text{ kN}} \quad \text{vyhovuje} \quad 0.11\%$$

4.9.2 Návrh spoje ve spodním páse

Spoj je proveden jako kolíkový se třemi ocelovými deskami, které jsou vloženy do zářezů ve spodním páse. Jako mechanické spojovací prostředky jsou použity kolíky. Ty jsou namáhány na stříh. Kombinují se navíc se svorníky, kterými je příčník připojen ke spodnímu páse.

4.9.2.1 Schéma a vnitřní síly

Schéma spoje



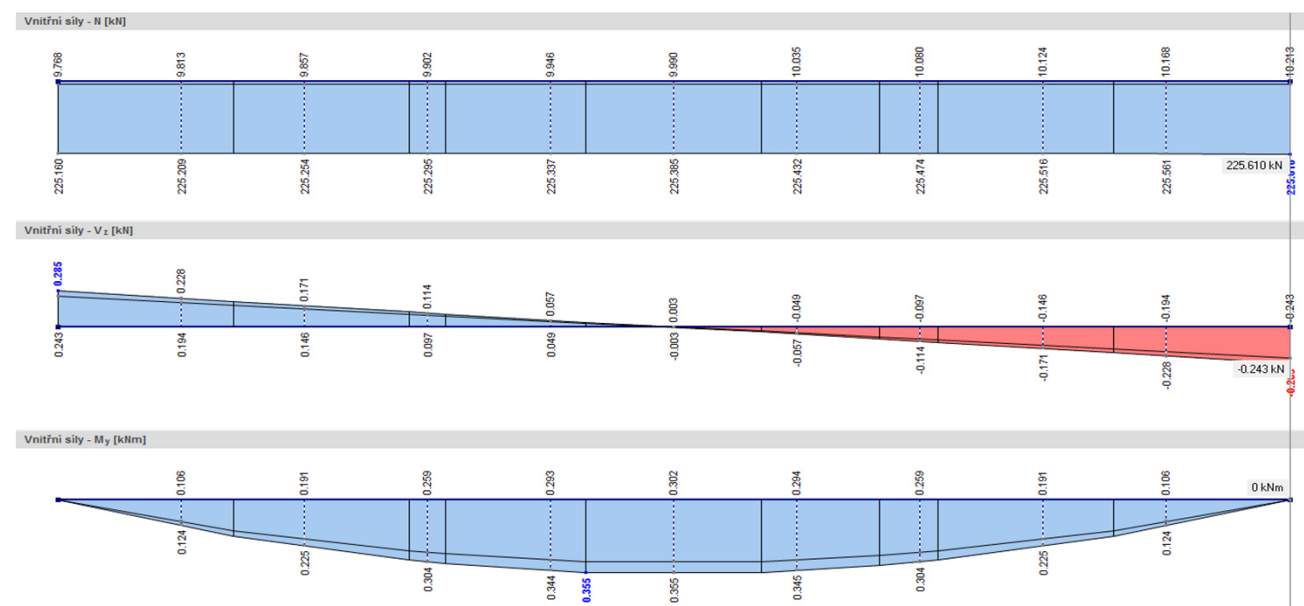
Oslabení průřezu

h	440 mm	b	220 mm
d0	17 mm	t (deska)	5 mm
n	4	n desek	3
$h_{net} = h - d * n$	372 mm	$b_{net} = b - t * n$	205 mm

$$A_{net} = h_{net} * b_{net} = 76260 \text{ mm}^2$$

Návrhové vnitřní síly pro diagonálu D2

obálka vnitřních sil



N_{Ed}	225.61 kN	(tah)
$V_{z,Ed}$	0.24 kN	
$M_{y,Ed}$	0 kNm	v místě teoretického styčnicku

4.9.2.2 Zatížení a geometrie spoje

Zatížení

1. zatížení $F_{v,Ed,a}$

stanovení zatížení z normálové a posouvací síly

$$F_{v,Ed,a} = \sqrt{N_{Ed}^2 + V_{z,Ed}^2} = \sqrt{225.61^2 + 0.24^2} = 225.61 \text{ kN}$$

úhel mezi silou a směrem vláken

$$\alpha_a = \arctg(V_{z,Ed} / N_{Ed}) + 42.52^\circ = \arctg(0.24 / 225.61) + 42.52^\circ = 42.58^\circ$$

2. zatížení $F_{v,Ed,b}$

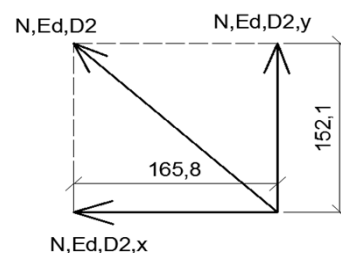
stanovení zatížení pro nejvytíženější spojovací prostředek

$$F_N = N_{ed} / n = 225.61 / 8 = 28.20 \text{ kN}$$

$$F_{Nx} = N_{Ed,D2,x} / n = 165.8 / 8 = 20.73 \text{ kN}$$

$$F_{Ny} = N_{Ed,D2,y} / n = 152.1 / 8 = 19.01 \text{ kN}$$

$$n = 8$$



$$F_{V,př} = 5.83 \text{ kN} \quad \text{síla od příčnicku}$$

stanovení celkového zatížení

$$F = \sqrt{(F_{Nx})^2 + (F_{Ny} - F_{V,př})^2} = \sqrt{(20.73)^2 + (19.01 - 5.83)^2} = 24.56 \text{ kN}$$

předpoklad, že síla od příčnicku směřuje dolů

$$F_{v,Ed,b} = F / 6 = 24.56 / 6 = 4.09 \text{ kN} \quad 6 \text{ rovin stříhu}$$

$$F_{ax,Ed} = 10.85 \text{ kN}$$

úhel mezi silou a směrem vláken

$$\alpha_b = \arctg((F_{Ny} - F_{V,př}) / (F_{Nx})) = \arctg((19.01 - 5.83) / (20.73)) = 32.46^\circ$$

Geometrie spoje

průměr spojovacího prostředku

d 16 mm

tabulka minimálních roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro kolíky

Rozteče a vzdálenosti od okrajů/konců	Úhel	Min rozteče nebo vzd od okrajů/konců	
a_1 (rovnoběžně s vlákny)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(3+2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	72 mm
a_2 (kolmo na vlákna)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 \cdot d$	48 mm
$a_{4,t}$ (zatížený okraj)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max((2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 3 \cdot d)$	54 mm
$a_{4,c}$ (nezatížený okraj)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 \cdot d$	48 mm

tabulka minimálních roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro svorníky

Rozteče a vzdálenosti od okrajů/konců	Úhel	Min rozteče nebo vzd od okrajů/konců	
a_1 (rovnoběžně s vlákny)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4 + \cos \alpha) \cdot d$	76 mm
a_2 (kolmo na vlákna)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$4 \cdot d$	64 mm
$a_{4,t}$ (zatížený okraj)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max((2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 3 \cdot d)$	54 mm
$a_{4,c}$ (nezatížený okraj)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 \cdot d$	48 mm

tabulka nejmenších roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro vložený plech

rozměry desky

h	320 mm
t	5 mm

velikost otvoru

$d_0 = d$ (kolík)	16 mm
$d_0 = d$ (svorník)	17 mm

	nejméně	
e_1 (vzdálenost od konce)	$1.2 \cdot d_0$	19.2 mm
e_2 (vzdálenost od okraje)	$1.2 \cdot d_0$	19.2 mm
p_1 (rozteč v podélném směru)	$2.2 \cdot d_0$	35.2 mm
p_2 (rozteč v kolmém směru)	$2.4 \cdot d_0$	38.4 mm

použité rozteče nebo vzdálenosti od okrajů/konců

a_1 (rovnoběžně s vlákny)	80 mm	e_1	20 mm
a_2 (kolmo na vlákna)	70 mm	e_2	20 mm
		p_1	80 mm
		p_2	70 mm

třída spojovacího prostředku 6.8

f_y	480 N/mm ²
$f_{u,k}$	600 N/mm ²

4.9.2.3 Posouzení spojovacích prostředků

Podle ČSN-EN 1995-1-1.

Spoj dřevo - dřevo

hustota dřeva

ρ_k 385 kg/m³ GL-24h

charakteristická hodnota plastického momentu únosnosti $M_{y,Rk}$

$$M_{y,Rk} = 0.3 * f_{u,k} * d^{2.6} = 0.3 * 600 * 16^{2.6} = 243\,212 \text{ Nmm}$$

charakteristická pevnost v otláčení ve dřevu $f_{h,k}$

$$f_{h,0,k} = 0.082 * (1 - 0.01 * d) * \rho_k = 0.082 * (1 - 0.01 * 16) * 385 = 26.52 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,\alpha,k,a} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} * \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{26.52}{1.59 * \sin^2 42.58 + \cos^2 42.58} = 20.88 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,\alpha,k,b} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} * \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{26.52}{1.59 * \sin^2 32.46 + \cos^2 32.46} = 22.67 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{90} = 1.35 + 0.015 * d = 1.35 + 0.015 * 16 = 1.59$$

pro dřevo jehličnatých dřevin

počet spojovacích prostředků pro výpočet

počet v řadě

n 2 skutečný počet

$$n_{ef} = \min \left\{ n^{0.9} * \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \right\} = \min \left\{ 2^{0.9} * \sqrt[4]{\frac{80}{13 * 16}} \right\} = 1.47$$

pro zatížení kolmo k vláknům

$n_{ef} = n$ 2

pro úhly $0^\circ < \alpha < 90^\circ$

α 42.58 ° úhel odklonu od směru vláken
 n_{ef} 1.72

počet řad

n_r 4

účinný počet spojovacích prostředků celkově ve směru síly

$$n_c = n_{ef} * n_{\bar{r}} = 1.72 * 4 = 6.88$$

celkový počet spojovacích prostředků

$$n_{celk} = n * n_{\bar{r}} = 2 * 4 = 8$$

Spoj ocel - dřevo

menší tloušťka dřevěného prvku

$$t_1 \quad 50 \text{ mm}$$

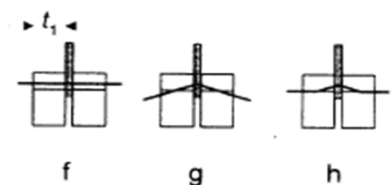
charakteristická únosnost na vytažení spojovacího prostředku

$$F_{ax,Rk} \quad 0 \text{ kN}$$

síla je neznámá

charakteristická únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} * t_1 * d * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} * d * t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2.3 * \sqrt{M_{y,Rk} * f_{h,1,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$



a) pro celý spoj

$$F_{v,Rk,1} = \min \left\{ \begin{array}{l} 20.88 * 50 * 16 * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * 243\,212}{20.88 * 16 * 50^2}} - 1 \right] + \frac{0}{4} \\ 2.3 * \sqrt{243\,212 * 20.88 * 16} + \frac{0}{4} \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} 16\,703 \text{ N} \\ 13\,012 \text{ N} \\ 20\,732 \text{ N} \end{array} \right. = 13\,012 \text{ N}$$

b) pro nejzatíženější spojovací prostředek

$$F_{v,Rk,2} = \min \left\{ \begin{array}{l} 22.67 * 50 * 16 * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * 243\,212}{22.67 * 16 * 50^2}} - 1 \right] + \frac{0}{4} \\ 2.3 * \sqrt{243\,212 * 22.67 * 16} + \frac{0}{4} \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} 18\,133 \text{ N} \\ 13\,654 \text{ N} \\ 21\,601 \text{ N} \end{array} \right. = 13\,654 \text{ N}$$

návrhová únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku

$$\gamma_M \quad 1.25$$

$$k_{mod} \quad 0.7$$

třída provozu 3

$$F_{v,Rd,1} = F_{v,Rk,1} * k_{mod} / \gamma_M = 13\,012 * 0.7 / 1.25 = 7\,287 \text{ N}$$

$$F_{v,Rd,2} = F_{v,Rk,2} * k_{mod} / \gamma_M = 13\,654 * 0.7 / 1.25 = 7\,646 \text{ N}$$

Návrhová únosnost spoje

počet spojovacích prostředků

n_c 6.88

počet rovin stříhu

n_s 6 3x 2 stříhy

návrhová únosnost spoje

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd,1} * n_c * n_s = 7\,287 * 6.88 * 6 = 300\,883 \text{ N}$$

Posouzení spoje na stříh

$F_{v,Ed,a}$ 225.61 kN

$F_{v,Rd} > F_{v,Ed,a}$ 300.88 > 225.61 kN vyhovuje 74.98%

Posouzení nejzatíženějšího spojovacího prostředku

A. Stříh

$F_{v,Ed,b}$ 4.09 kN

$F_{v,Rd,2} > F_{v,Ed,b}$ 7.65 > 4.09 kN vyhovuje 53.54%

B. Tahová únosnost

průměr svorníku

d 16 mm

plocha dřívku svorníku

$$A = \pi * 16^2 / 4 = 201.06 \text{ mm}^2$$

návrhová únosnost na vytažení

$$F_{ax,Rd} = A * f_y / \gamma_{M0} = 201.06 * 480 / 1.00 = 96\,510 \text{ N}$$

posouzení na vytažení

$F_{ax,Ed}$ 10.85 kN

$F_{ax,Rd} > F_{ax,Ed}$ 96.51 > 10.85 kN vyhovuje 11.24%

C. Kombinace smykové a tahové únosnosti

$F_{ax,Ed}$	10.85	kN
$F_{ax,Rd}$	96.51	kN
$F_{v,Ed,b}$	4.09	kN
$F_{v,Rd,2}$	7.65	kN

$$\left(\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed,b}}{F_{v,Rd,2}}\right)^2 \leq 1$$

0.01	+	0.29	<	1		
		0.30	<	1	vyhovuje	29.93%

4.9.2.4 Posouzení ocelové desky

Podle ČSN-EN 1993-1-1 a ČSN-EN 1993-1-8.

1. Posouzení desky v otlačení (má menší pevnost než spojovací prostředky)

materiál desky a příslušné pevnosti

ocel S235

f_y	235 MPa
f_u	360 MPa

průřezové charakteristiky desky

h	320 mm
t	5 mm

$$A = h \cdot t = 320 \cdot 5 = 1\,600 \text{ mm}^2$$

$$A_{net} = (h - n_f \cdot d_0) \cdot t = (320 - 3 \cdot 17 - 1 \cdot 16) \cdot 5 = 1\,265 \text{ mm}^2$$

velikost otvorů v desce

d_0	17 mm
-------	-------

únosnost v otlačení

γ_{M2}	1.25
---------------	------

1) ve směru zatížení

pro spojovací prostředky na konci

$$\alpha_d = e_1 / 3d_0 = 20 / (3 \cdot 17) = 0.39$$

pro vnitřní spojovací prostředky

$$\alpha_d = p_1 / 3d_0 - 1/4 = 80 / (3 \cdot 17) - 1/4 = 1.32$$

2) kolmo na směr zatížení

spojovací prostředky u okraje

$$k_1 = \min(2.8 * e_2/d_0 - 1.7; 2.5) = \min(2.8 * 20/17 - 1.7; 2.5) = 1.59$$

pro vnitřní spojovací prostředky

$$k_1 = \min(1.4 * p_2/d_0 - 1.7; 2.5) = \min(1.4 * 70/17 - 1.7; 2.5) = 2.50$$

$$\alpha_b = \min(\alpha_d; f_{ub}/f_u; 1) = \min(0.39; 600/360; 1) = 0.39$$

$$F_{b,Rd} = k_1 * a_b * f_u * d * t / \gamma_{M2} = 1.59 * 0.39 * 360 * 16 * 5 / 1.25 = 14\,403 \text{ N}$$

posouzení na únosnost v otláčení

Posudek se provádí se silou neredukovanou počtem stříhů.

$F_{b,Rd} > F/3$	14.40	>	8.19 kN	vyhovuje	56.84%
3 ocelové desky					

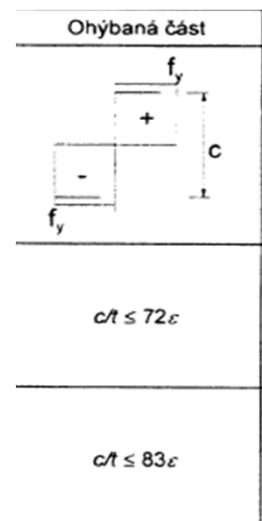
2. Posouzení na přenos vnitřních sil

N_{Ed}	225.61 kN	(tah)
$V_{z,Ed}$	0.243 kN	
$M_{y,Ed}$	0 kNm	v místě teoretického styčníku

zatřídění průřezu

není namáhání tlakem a zatřídění je proto pro ohyb

$c = h$	320 mm
t	5 mm
c/t	64
$\epsilon = (235/f_y)^{0.5}$	1.00



třída 2: $c/t < 83\epsilon$	64	<	83.00	vyhovuje
-----------------------------	----	-------------	--------------	----------

Tah

$$N_{u,Rd} = 3 * 0.9 * A_{net} * f_u / \gamma_{M0} = 3 * 0.9 * 1\,265 * 360 / 1.00 = 1\,229\,580 \text{ N}$$

$N_{Ed}/N_{u,Rd} < 1.0$	0.18	<	1.0	vyhovuje	18.35%
-------------------------	-------------	-------------	------------	----------	--------

Smyk

smyková plocha

$$A_v = 3 \cdot A = 3 \cdot 1\,600 = 4\,800 \text{ mm}^2$$

posouzení

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{4\,800 \cdot 235}{1.00 \cdot \sqrt{3}} = 651\,251 \text{ N}$$

$$V_{z,Ed} < V_{pl,Rd} \qquad \qquad \qquad \mathbf{0.24} \qquad < \qquad \mathbf{651.25 \text{ kN}} \qquad \text{vyhovuje} \qquad \qquad \mathbf{0.04\%}$$

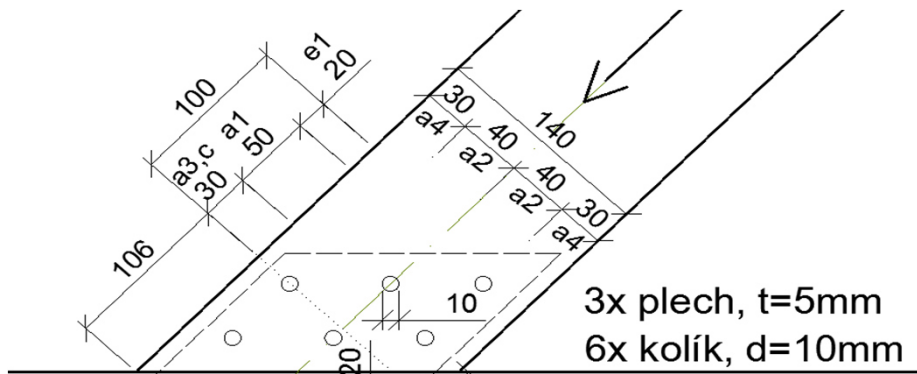
4.10 Připojení diagonály D3

4.10.1 Návrh spoje v diagonále

Přípoj je proveden jako kolíkový se třemi ocelovými deskami, které jsou vloženy do zářezů v diagonále.

4.10.1.1 Schéma a vnitřní síly

Schéma spoje



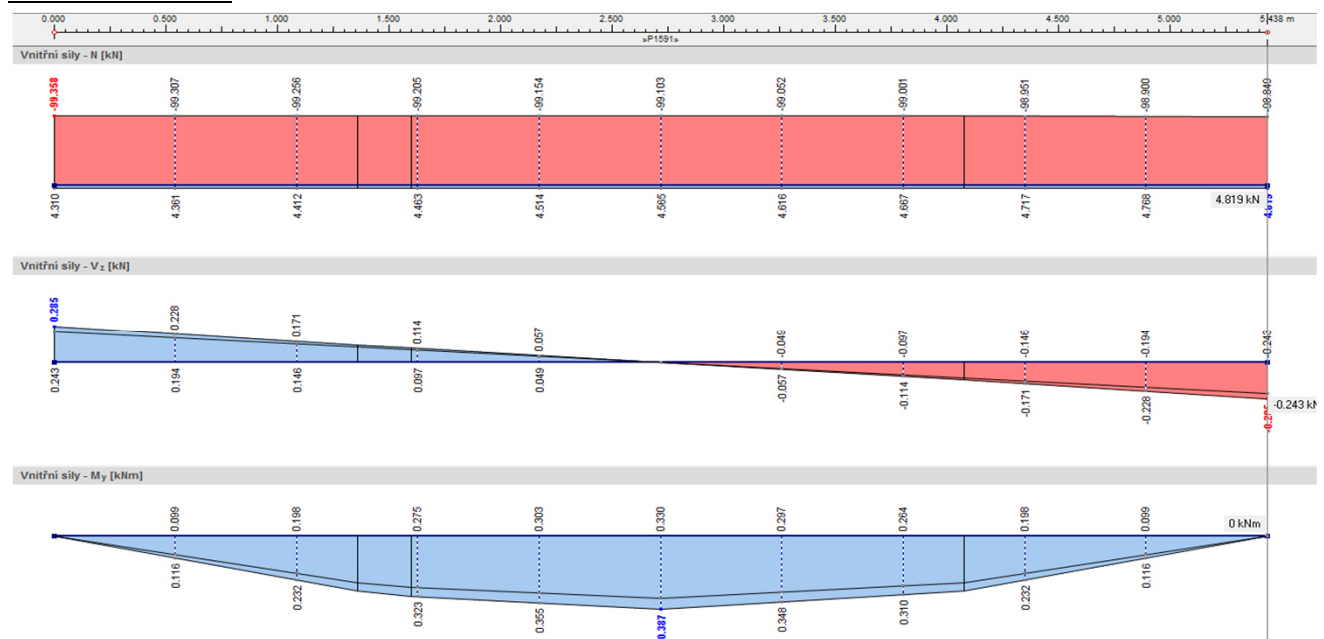
Oslabení průřezu

h	140 mm	b	220 mm
d (kolík)	10 mm	t (deska)	5 mm
n kolíků	1	n desek	3
$h_{net} = h - d \cdot n$	130 mm	$b_{net} = b - t \cdot n$	205 mm

$$A_{net} = h_{net} \cdot b_{net} = 26650 \text{ mm}^2$$

Návrhové vnitřní síly v místě spoje

obálka vnitřních sil



N_{Ed}	99.31 kN	(tlak)	<i>Spoj je ve vzdálenosti 0.5 m od teoretického styčnicku.</i>
$V_{z,Ed}$	0.228 kN		
$M_{y,Ed}$	0.116 kNm	(kladný)	

4.10.1.2 Zatížení a geometrie spoje

Zatížení

1. zatížení $F_{v,Ed,a}$

stanovení zatížení z normálové a posouvací síly

$$F_{v,Ed,a} = \sqrt{N_{Ed}^2 + V_{z,Ed}^2} = \sqrt{99.31^2 + 0.228^2} = 99.31 \text{ kN}$$

úhel mezi silou a směrem vláken

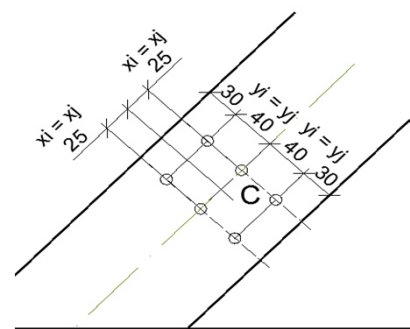
$$\alpha = \arctg(V_{z,Ed} / N_{Ed}) = \arctg(0.228 / 99.31) = 0.13^\circ$$

2. zatížení $F_{v,Ed,b}$

stanovení zatížení z momentu

$$F_{M,x} = M_{y,Ed} * y_j / (\Sigma(x_i^2 + y_i^2)) = 0.116 * 0.04 / ((4*0.04^2) + (6*0.025^2)) = 0.46 \text{ kN}$$

$$F_{M,y} = M_{y,Ed} * x_j / (\Sigma(x_i^2 + y_i^2)) = 0.116 * 0.025 / ((4*0.04^2) + (6*0.025^2)) = 0.29 \text{ kN}$$



stanovení zatížení z normálové a posouvací síly

$$F_N = N_{ed} / n = 99.31 / 6 = 16.55 \text{ kN}$$

$$F_V = V_{z,Ed} / n = 0.228 / 6 = 0.04 \text{ kN}$$

$$n = 6$$

stanovení celkového zatížení

$$F = \sqrt{(F_{M,x} + F_N)^2 + (F_{M,y} + F_V)^2} = \sqrt{(0.46 + 16.55)^2 + (0.29 + 0.04)^2} = 17.01 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed,b} = F / 6 = 17.01 / 6 = 2.84 \text{ kN}$$

6 rovin stříhu

úhel mezi silou a směrem vláken

$$\alpha = \arctg((F_{M,y} + F_V) / (F_{M,x} + F_N)) = \arctg((0.29 + 0.04) / (0.46 + 16.55)) = 1.09^\circ$$

Geometrie spoje

průměr spojovacího prostředku

d 10 mm

tabulka minimálních roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro kolíky

Rozteče a vzdálenosti od okrajů/konců	Úhel	Min rozteče nebo vzd od okrajů/konců	
a_1 (rovnoběžně s vlákny)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(3+2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	50 mm
a_2 (kolmo na vlákna)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 \cdot d$	30 mm
$a_{3,t}$ (zatížený konec)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7 \cdot d; 80 \text{ mm})$	80 mm
$a_{3,c}$ (nezatížený konec)	$90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$	$\max(a_{3,t} \cdot \sin \alpha ; 3 \cdot d)$	30 mm
	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	$3 \cdot d$	30 mm
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$\max(a_{3,t} \cdot \sin \alpha ; 3 \cdot d)$	30 mm
$a_{4,t}$ (zatížený okraj)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max((2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 3 \cdot d)$	30 mm
$a_{4,c}$ (nezatížený okraj)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 \cdot d$	30 mm

tabulka nejmenších roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro vložený plech

rozměry desky

h 120 mm
t 5 mm

velikost otvoru

$d_0 = d$ (kolík) 10 mm

	nejméně	
e_1 (vzdálenost od konce)	$1.2 \cdot d_0$	12 mm
e_2 (vzdálenost od okraje)	$1.2 \cdot d_0$	12 mm
p_1 (rozteč v podélném směru)	$2.2 \cdot d_0$	22 mm
p_2 (rozteč v kolmém směru)	$2.4 \cdot d_0$	24 mm

použité rozteče nebo vzdálenosti od okrajů/konců

a_1 (rovnoběžně s vlákny)	50 mm	e_1	20 mm
a_2 (kolmo na vlákna)	40 mm	e_2	20 mm
$a_{3,c}$ (nezatížený konec)	30 mm	p_1	50 mm
a_4	30 mm	p_2	40 mm

třída spojovacího prostředku 6.8

f_y 480 N/mm²
 $f_{u,k}$ 600 N/mm²

4.10.1.3 Posouzení spojovacích prostředků

Podle ČSN-EN 1995-1-1.

Spoj dřevo - dřevo

hustota dřeva

ρ_k 385 kg/m³ GL-24h

charakteristická hodnota plastického momentu únosnosti $M_{y,Rk}$

$$M_{y,Rk} = 0.3 * f_{u,k} * d^{2.6} = 0.3 * 600 * 10^{2.6} = 71\,659 \text{ Nmm}$$

charakteristická pevnost v otláčení ve dřevu $f_{h,k}$

$$f_{h,0,k} = 0.082 * (1 - 0.01 * d) * \rho_k = 0.082 * (1 - 0.01 * 10) * 385 = 28.41 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,\alpha,k,a} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} * \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{28.41}{1.50 * \sin^2 0.13 + \cos^2 0.13} = 28.41 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,\alpha,k,b} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} * \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{28.41}{1.50 * \sin^2 1.09 + \cos^2 1.09} = 28.41 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{90} = 1.35 + 0.015 * d = 1.35 + 0.015 * 10 = 1.50$$

pro dřevo jehličnatých dřevin

počet spojovacích prostředků pro výpočet

počet v řadě

n 2 skutečný počet

$$n_{ef} = \min \left\{ n^{0.9} * \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \right\} = \min \left\{ 2^{0.9} * \sqrt[4]{\frac{50}{13 * 10}} \right\} = 1.47$$

pro zatížení kolmo k vláknům

$n_{ef} = n$ 2

pro úhly $0^\circ < \alpha < 90^\circ$

α 0.13 ° úhel odklonu od směru vláken
 n_{ef} 1.47

počet řad

$n_{\check{r}}$ 3

účinný počet spojovacích prostředků celkově ve směru síly

$$n_c = n_{ef} * n_{\gamma} = 1.47 * 3 = 4.41$$

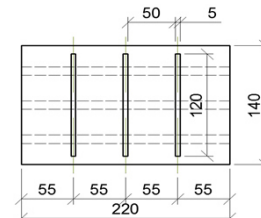
celkový počet spojovacích prostředků

$$n_{celk} = n * n_{\gamma} = 2 * 3 = 6$$

Spoj ocel - dřevo

nejmenší tloušťka dřevěného prvku

$$t_1 \quad 50 \text{ mm}$$



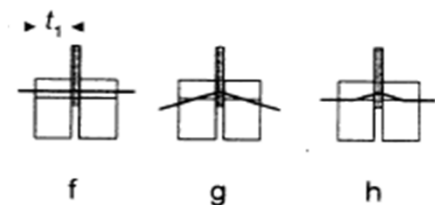
charakteristická únosnost na vytažení spojovacího prostředku

$$F_{ax,Rk} \quad 0 \text{ kN}$$

síla je neznámá

charakteristická únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{aligned} & f_{h,1,k} * t_1 * d * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * M_{v,Rk}}{f_{h,1,k} * d * t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ & 2.3 * \sqrt{M_{v,Rk} * f_{h,1,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{aligned} \right.$$



a) pro celý spoj

$$F_{v,Rk,1} = \min \left\{ \begin{aligned} & 28.41 * 50 * 10 * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * 71\,659}{28.41 * 10 * 50^2}} - 1 \right] + \frac{0}{4} \\ & 2.3 * \sqrt{71\,659 * 28.41 * 10} + \frac{0}{4} \end{aligned} \right. = \min \left\{ \begin{aligned} & 14\,206 \text{ N} \\ & 7\,818 \text{ N} \\ & 10\,378 \text{ N} \end{aligned} \right. = 7\,818 \text{ N}$$

b) pro nejzatíženější spojovací prostředek

$$F_{v,Rk,2} = \min \left\{ \begin{aligned} & 28.41 * 50 * 10 * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * 71\,659}{28.41 * 10 * 50^2}} - 1 \right] + \frac{0}{4} \\ & 2.3 * \sqrt{71\,659 * 28.41 * 10} + \frac{0}{4} \end{aligned} \right. = \min \left\{ \begin{aligned} & 14\,204 \text{ N} \\ & 7\,817 \text{ N} \\ & 10\,377 \text{ N} \end{aligned} \right. = 7\,817 \text{ N}$$

návrhová únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku

$$\gamma_M \quad 1.25$$

$$k_{mod} \quad 0.9$$

třída provozu 2

$$F_{v,Rd,1} = F_{v,Rk,1} * k_{mod} / \gamma_M = 7\,818 * 0.9 / 1.25 = 5\,629 \text{ N}$$

$$F_{v,Rd,2} = F_{v,Rk,2} * k_{mod} / \gamma_M = 7\,817 * 0.9 / 1.25 = 5\,628 \text{ N}$$

Návrhová únosnost spoje

počet spojovacích prostředků

n_c 4.41

počet rovin stříhu

n_s 6 3x 2 stříhy

návrhová únosnost spoje

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd,1} * n_c * n_s = 5\,629 * 4.41 * 6 = 148\,980 \text{ N}$$

Posouzení spoje na stříh

$F_{v,Ed,a}$ 99.31 kN

$F_{v,Rd} > F_{v,Ed,a}$ 148.98 > 99.31 kN vyhovuje 66.66%

Posouzení nejzatíženějšího spojovacího prostředku

$F_{v,Ed,b}$ 2.84 kN

$F_{v,Rd,2} > F_{v,Ed,b}$ 5.63 > 2.84 kN vyhovuje 50.37%

4.10.1.4 Posouzení ocelové desky

Podle ČSN-EN 1993-1-1 a ČSN-EN 1993-1-8.

1. Posouzení desky v otláčení (má menší pevnost než spojovací prostředky)

materiál desky a příslušné pevnosti

ocel S235

f_y 235 MPa

f_u 360 MPa

průřezové charakteristiky desky

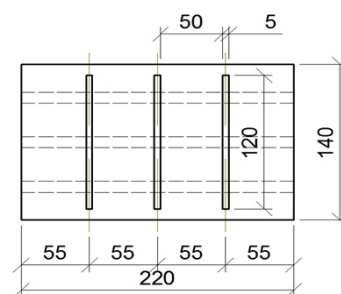
h 120 mm

t 5 mm

$$A = h * t = 120 * 5 = 600 \text{ mm}^2$$

velikost otvorů v desce

d_0 10 mm



únosnost v otláčení

γ_{M2} 1.25

1) ve směru zatížení

pro spojovací prostředky na konci

$$\alpha_d = e_1/3d_0 = 20 / (3 \cdot 10) = 0.67$$

pro vnitřní spojovací prostředky

$$\alpha_d = p_1/3d_0 - 1/4 = 50 / (3 \cdot 10) - 1/4 = 1.42$$

2) kolmo na směr zatížení

spojovací prostředky u okraje

$$k_1 = \min(2.8 \cdot e_2/d_0 - 1.7; 2.5) = \min(2.8 \cdot 20/10 - 1.7; 2.5) = 2.50$$

pro vnitřní spojovací prostředky

$$k_1 = \min(1.4 \cdot p_2/d_0 - 1.7; 2.5) = \min(1.4 \cdot 40/10 - 1.7; 2.5) = 2.50$$

$$\alpha_b = \min(\alpha_d; f_{ub}/f_u; 1) = \min(0.67; 600/360; 1) = 0.67$$

$$F_{b,Rd} = k_1 \cdot a_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = 2.50 \cdot 0.67 \cdot 360 \cdot 10 \cdot 5 / 1.25 = 24\,000 \text{ N}$$

posouzení na únosnost v otláčení

Posudek se provádí se silou neredukovanou počtem stříhů.

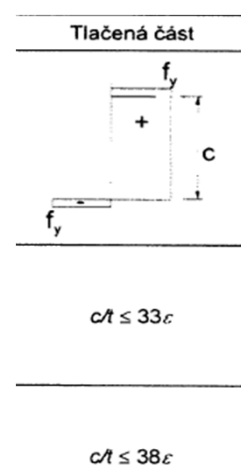
$F_{b,Rd} > F/3$	24.00	>	5.67 kN	vyhovuje	23.63%
3 ocelové desky					

2. Posouzení na přenos vnitřních sil

N_{Ed}	99.31 kN	(tlak)
$V_{z,Ed}$	0.23 kN	
$M_{y,Ed}$	0.12 kNm	(kladný)

zatřídění průřezu

$c = h$	120 mm
t	5 mm
c/t	24
$\epsilon = (235/f_y)^{0.5}$	1.00



třída 1: $c/t < 33\epsilon$	24	<	33.00	vyhovuje
-----------------------------	----	---	-------	----------

Tlak

$$N_{c,Rd} = 3 * A * f_y / \gamma_{M0} = 3 * 600 * 235 / 1.00 = 423\,000 \text{ N}$$

3 ocelové plechy

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 99.31 / 423 = 0.23 < 1.0$$

vyhovuje

23.48%

Ohybový moment

statický moment poloviny průřezu k těžišťové ose y

$$S_y(A/2) = A/2 * z_c = 600 / 2 * 30 = 9\,000 \text{ mm}^3$$

$$z_c = h/4 = 120 / 4 = 30 \text{ mm}$$

plastický průřezový modul

$$W_{pl} = 3 * 2 * S_y(A/2) = 3 * 2 * 9\,000 = 54\,000 \text{ mm}^3$$

3 ocelové plechy

posouzení

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl} * f_y / \gamma_{M0} = 54\,000 * 235 / 1.00 = 12\,690\,000 \text{ Nmm}$$

$$M_{y,Ed} < M_{c,Rd}$$

0.12

<

12.69 kNm

vyhovuje

0.91%

Smyk

smyková plocha

$$A_v = 3 * A = 3 * 600 = 1\,800 \text{ mm}^2$$

3 ocelové plechy

posouzení

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_y}{\gamma_{M0} * \sqrt{3}} = \frac{1\,800 * 235}{1.00 * \sqrt{3}} = 244\,219 \text{ N}$$

$$V_{z,Ed} < V_{pl,Rd}$$

0.23

<

244.22 kN

vyhovuje

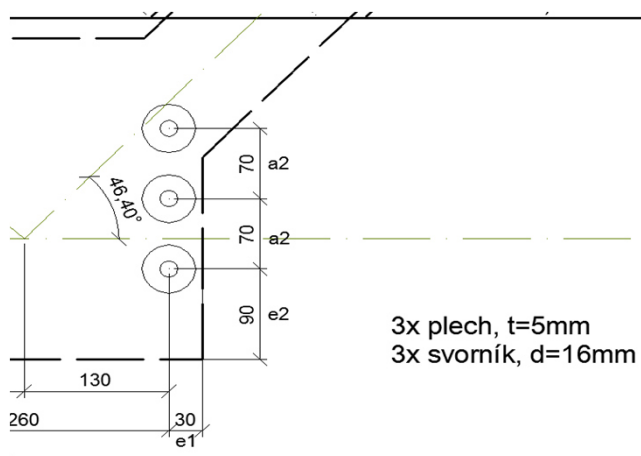
0.09%

4.10.2 Návrh spoje ve spodním páse

Spoj je proveden jako kolíkový se třemi ocelovými deskami, které jsou vloženy do zářezů ve spodním pásu. Jako mechanické spojovací prostředky jsou využity svorníky. Ty jsou namáhány na střih.

4.10.2.1 Schéma a vnitřní síly

Schéma spoje



Oslabení průřezu

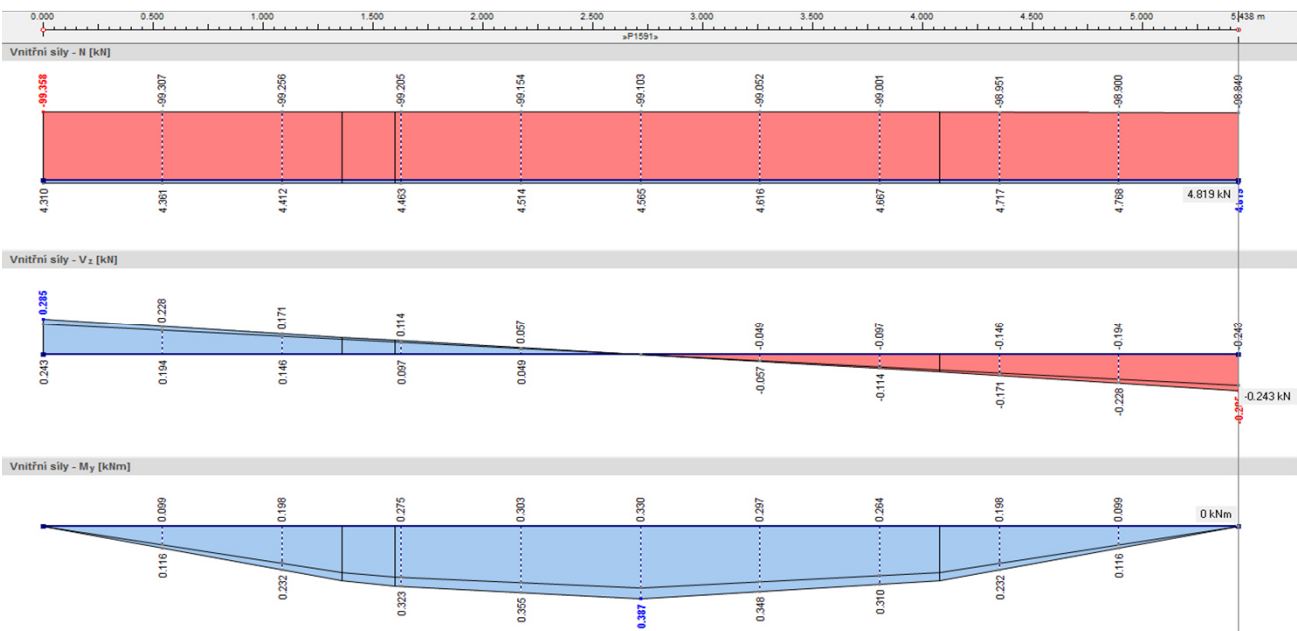
h	440 mm
d (svorník)	17 mm
n svorníků	3
$h_{net} = h - d * n$	389 mm

b	220 mm
t (deska)	5 mm
n desek	3
$b_{net} = b - t * n$	205 mm

$$A_{net} = h_{net} * b_{ne} = 79745 \text{ mm}^2$$

Návrhové vnitřní síly pro diagonálu D3

obálka vnitřních sil



N_{Ed}	99.36 kN	(tlak)
$V_{z,Ed}$	0.29 kN	
$M_{y,Ed}$	0 kNm	v místě teoretického styčníku

4.10.2.2 Zatížení a geometrie spoje

Zatížení

1. zatížení $F_{v,Ed,a}$

stanovení zatížení z normálové a posouvací síly

$$F_{v,Ed,a} = \sqrt{N_{Ed}^2 + V_{z,Ed}^2} = \sqrt{99.36^2 + 0.29^2} = 99.36 \text{ kN}$$

úhel mezi silou a směrem vláken

$$\alpha, a = \arctg(V_{z,Ed} / N_{Ed}) + 46.40^\circ = \arctg(0.29 / 99.36) + 46.40^\circ = 46.56^\circ$$

2. zatížení $F_{v,Ed,b}$

stanovení zatížení pro nejvytíženější spojovací prostředek

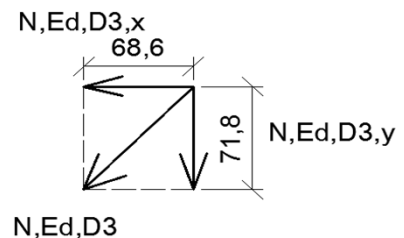
$$F_N = N_{ed} / n = 99.36 / 3 = 33.12 \text{ kN}$$

$$F_{Nx} = N_{Ed,D3,x} / n = 68.6 / 3 = 22.87 \text{ kN}$$

$$F_{Ny} = N_{Ed,D3,y} / n = 71.8 / 3 = 23.93 \text{ kN}$$

n

3



$$F_{v,př} = 5.83 \text{ kN}$$

stanovení celkového zatížení

$$F = \sqrt{(F_{Nx})^2 + (F_{Ny} + F_{v,př})^2} = \sqrt{(22.87)^2 + (23.93 + 5.83)^2} = 37.53 \text{ kN}$$

předpoklad, že síla od příčnicku směřuje dolů

$$F_{v,Ed,b} = F / 6 = 37.53 / 6 = 6.26 \text{ kN}$$

6 rovin stříhu

$$F_{ax,Ed} = 10.85 \text{ kN}$$

úhel mezi silou a směrem vláken

$$\alpha, b = \arctg((F_{Ny} + F_{v,př}) / (F_{Nx})) = \arctg((23.93 + 5.83) / (22.87)) = 52.47^\circ$$

Geometrie spoje

průměr spojovacího prostředku

d 16 mm

tabulka minimálních roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro svorníky

Rozteče a vzdálenosti od okrajů/konců	Úhel	Min rozteče nebo vzd od okrajů/konců	
a_1 (rovnoběžně s vlákny)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4 + \cos \alpha) \cdot d$	75 mm
a_2 (kolmo na vlákna)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$4 \cdot d$	64 mm
$a_{4,t}$ (zatížený okraj)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max((2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 3 \cdot d)$	55 mm
$a_{4,c}$ (nezatížený okraj)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 \cdot d$	48 mm

tabulka nejmenších roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro vložený plech

rozměry desky

h	320 mm
t	5 mm

velikost otvoru

$d_0 = d$	17 mm
-----------	-------

	nejméně	
e_1 (vzdálenost od konce)	$1.2 \cdot d_0$	20.4 mm
e_2 (vzdálenost od okraje)	$1.2 \cdot d_0$	20.4 mm
p_1 (rozteč v podélném směru)	$2.2 \cdot d_0$	37.4 mm
p_2 (rozteč v kolmém směru)	$2.4 \cdot d_0$	40.8 mm

použité rozteče nebo vzdálenosti od okrajů/konců

a_2 (kolmo na vlákna)	70 mm	e_1	30 mm
		p_2	70 mm

třída spojovacího prostředku 6.8

f_y	480 N/mm ²
$f_{u,k}$	600 N/mm ²

4.10.2.3 Posouzení spojovacích prostředků

Podle ČSN-EN 1995-1-1.

Spoj dřevo - dřevo

hustota dřeva

ρ_k 385 kg/m³ GL-24h

charakteristická hodnota plastického momentu únosnosti $M_{y,Rk}$

$$M_{y,Rk} = 0.3 * f_{u,k} * d^{2.6} = 0.3 * 600 * 16^{2.6} = 243\,212 \text{ Nmm}$$

charakteristická pevnost v otláčení ve dřevu $f_{h,k}$

$$f_{h,0,k} = 0.082 * (1 - 0.01 * d) * \rho_k = 0.082 * (1 - 0.01 * 16) * 385 = 26.52 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,\alpha,k,a} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} * \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{26.52}{1.59 * \sin^2 46.56 + \cos^2 46.56} = 20.23 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,\alpha,k,b} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} * \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{26.52}{1.59 * \sin^2 52.47 + \cos^2 52.47} = 19.34 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{90} = 1.35 + 0.015 * d = 1.35 + 0.015 * 16 = 1.59$$

pro dřevo jehličnatých dřevin

počet spojovacích prostředků pro výpočet

počet v řadě

n 1 *skutečný počet*

pro zatížení kolmo k vláknům

$n_{ef} = n$ 1

pro úhly $0^\circ < \alpha < 90^\circ$

α 46.56 ° *úhel odklonu od směru vláken*

n_{ef} 1

počet řad

n_r 3

účinný počet spojovacích prostředků celkově ve směru síly

$$n_c = n_{ef} * n_r = 1 * 3 = 3$$

celkový počet spojovacích prostředků

$$n_{celk} = n * n_r = 1 * 3 = 3$$

Spoj ocel - dřevo

menší tloušťka dřevěného prvku

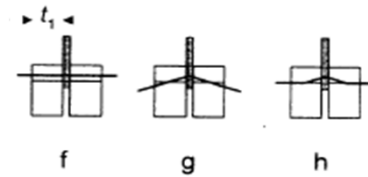
t_1 50 mm

charakteristická únosnost na vytažení spojovacího prostředku

$F_{ax,Rk}$ 0 kN *síla je neznámá*

charakteristická únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{aligned} & f_{h,1,k} * t_1 * d * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} * d * t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ & 2.3 * \sqrt{M_{y,Rk} * f_{h,1,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{aligned} \right.$$



a) pro celý spoj

$$F_{v,Rk,1} = \min \left\{ \begin{aligned} & 20.23 * 50 * 16 * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * 243\,212}{20.23 * 16 * 50^2}} - 1 \right] + \frac{0}{4} \\ & 2.3 * \sqrt{243\,212 * 20.23 * 16} + \frac{0}{4} \end{aligned} \right. = \min \begin{cases} 16\,181\,N \\ 12\,776\,N \\ 20\,405\,N \end{cases} = 12\,776\,N$$

b) pro nejzatíženější spojovací prostředek

$$F_{v,Rk,2} = \min \left\{ \begin{aligned} & 19.34 * 50 * 16 * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * 243\,212}{19.34 * 16 * 50^2}} - 1 \right] + \frac{0}{4} \\ & 2.3 * \sqrt{243\,212 * 19.34 * 16} + \frac{0}{4} \end{aligned} \right. = \min \begin{cases} 15\,474\,N \\ 12\,454\,N \\ 19\,954\,N \end{cases} = 12\,454\,N$$

γ_M 1.25

k_{mod} 0.7 *třída provozu 3*

$$F_{v,Rd,1} = F_{v,Rk,1} * k_{mod} / \gamma_M = 12\,776 * 0.7 / 1.25 = 7\,154\,N$$

$$F_{v,Rd,2} = F_{v,Rk,2} * k_{mod} / \gamma_M = 12\,454 * 0.7 / 1.25 = 6\,974\,N$$

Návrhová únosnost spoje

počet spojovacích prostředků

n_c 3

počet rovin stříhu

n_s 6 *3x 2 stříhy*

návrhová únosnost spoje

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd,1} * n_c * n_s = 7\,154 * 3 * 6 = 128\,778 \text{ N}$$

Posouzení spoje na stříh

$$F_{v,Ed,a} \quad 99.36 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} > F_{v,Ed,a} \quad 128.78 > 99.36 \text{ kN} \quad \text{vyhovuje} \quad 77.15\%$$

Posouzení nejzatíženějšího spojovacího prostředku

A. Stříh

$$F_{v,Ed,b} \quad 6.26 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd,2} > F_{v,Ed,b} \quad 6.97 > 6.26 \text{ kN} \quad \text{vyhovuje} \quad 89.70\%$$

B. Tahová únosnost

průměr svorníku

$$d \quad 16 \text{ mm}$$

plocha dráčky svorníku

$$A = \pi * d^2 / 4 = \pi * 16^2 / 4 = 201.06 \text{ mm}^2$$

návrhová únosnost na vytažení

$$F_{ax,Rd} = A * f_y / \gamma_{M0} = 201.06 * 480 / 1.00 = 96\,510 \text{ N}$$

posouzení na vytažení

$$F_{ax,Ed} \quad 10.85 \text{ kN}$$

$$F_{ax,Rd} > F_{ax,Ed} \quad 96.51 > 10.85 \text{ kN} \quad \text{vyhovuje} \quad 11.24\%$$

C. Kombinace smykové a tahové únosnosti

$$F_{ax,Ed} \quad 10.85 \text{ kN}$$

$$F_{ax,Rd} \quad 96.51 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed,b} \quad 6.26 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd,2} \quad 6.97 \text{ kN}$$

$$\left(\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 \leq 1$$

$$0.01 + 0.80 < 1$$

$$0.82 < 1 \quad \text{vyhovuje} \quad 81.72\%$$

4.10.2.4 Posouzení ocelové desky

Podle ČSN-EN 1993-1-1 a ČSN-EN 1993-1-8.

1. Posouzení desky v otláčení (má menší pevnost než spojovací prostředky)

materiál desky a příslušné pevnosti

ocel S235

f_y 235 MPa

f_u 360 MPa

průřezové charakteristiky desky

h 320 mm

t 5 mm

$$A = h \cdot t = 320 \cdot 5 = 1600 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{net}} = (h - n_r \cdot d_0) \cdot t = (320 - 3 \cdot 17) \cdot 5 = 1345 \text{ mm}^2$$

velikost otvorů v desce

d_0 17 mm

únosnost v otláčení

γ_{M2} 1.25

1) ve směru zatížení

pro spojovací prostředky na konci

$$\alpha_d = e_1 / 3d_0 = 30 / (3 \cdot 17) = 0.59$$

2) kolmo na směr zatížení

pro vnitřní spojovací prostředky

$$k_1 = \min(1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7; 2.5) = \min(1.4 \cdot 70 / 17 - 1.7; 2.5) = 2.50$$

$$\alpha_b = \min(\alpha_d; f_{ub} / f_u; 1) = \min(0.59; 600 / 360; 1) = 0.59$$

$$F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = 2.50 \cdot 0.59 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 5 / 1.25 = 33882 \text{ N}$$

posouzení na únosnost v otláčení

Posudek se provádí se silou neredukovanou počtem stříhů.

$F_{b,Rd} > F/3$	33.88	>	12.51 kN	vyhovuje	36.93%
3 ocelové desky					

2. Posouzení na přenos vnitřních sil

N_{Ed}	99.36 kN	(tlak)
$V_{z,Ed}$	0.29 kN	
$M_{y,Ed}$	0.00 kNm	v místě teoretického styčnicku

zatřídění průřezu

Zatřídění je pro tlak, deska je vysoká a je třídy 4.

$c = h$	320 mm
t	5 mm
c/t	64
$\epsilon = (235/f_y)^{0.5}$	1.00

třída 3: $c/t < 42\epsilon$	64	>	42.00	Průřez je třídy 4. odhad $A_{eff} = 0.5A$
-----------------------------	----	-------------	-------	--

Tlak

$N_{c,Rd} = 3 * 0.5 * A * f_y / \gamma_{M0} = 3 * 0.5 * 1\,600 * 235 / 1.00 = 564\,000\text{ N}$	3 ocelové plechy
$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 99.36 / 564.00 = 0.18 < 1.0$	vyhovuje 17.62%

Smyk

smyková plocha

$$A_v = 3 * A = 3 * 1\,600 = 4\,800\text{ mm}^2$$

posouzení

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_y}{\gamma_{M0} * \sqrt{3}} = \frac{4\,800 * 235}{1.00 * \sqrt{3}} = 651\,251\text{ N}$$

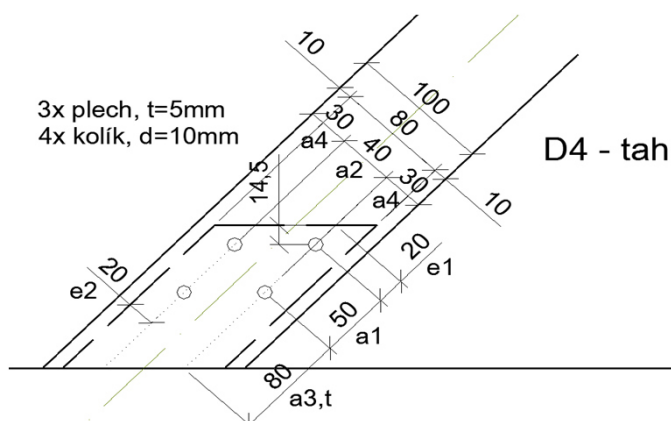
$V_{z,Ed} < V_{pl,Rd}$	0.29	<	651.25 kN	vyhovuje	0.04%
------------------------	-------------	-------------	------------------	----------	-------

4.11 Připojení diagonály D4

Přípoj je proveden jako kolíkový se třemi ocelovými deskami, které jsou vloženy do zářezů v diagonále.

4.11.1 Schéma a vnitřní síly

Schéma spoje



Oslabení průřezu

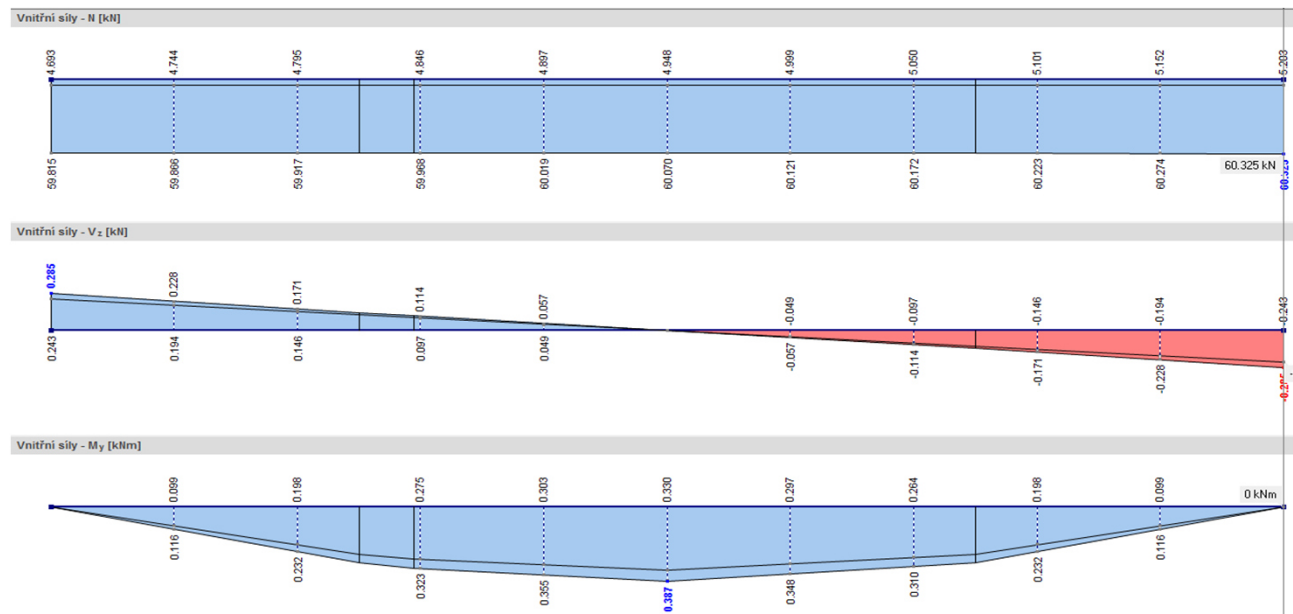
h	100 mm
d (kolík)	10 mm
n kolíků	1
$h_{net} = h - d * n$	90 mm

b	220 mm
t (deska)	5 mm
n desek	3
$b_{net} = b - t * n$	205 mm

$$A_{net} = h_{net} * b_{net} = 18450 \text{ mm}^2$$

Návrhové vnitřní síly v místě spoje

obálka vnitřních sil



N_{Ed}	60.27 kN	(tah)	Spoj je ve vzdálenosti 0.5 m od teoretického styčnicku.
$V_{z,Ed}$	0.228 kN		
$M_{y,Ed}$	0.232 kNm	(kladný)	

4.11.2 Zatížení a geometrie spoje

Zatížení

1. zatížení $F_{v,Ed,a}$

stanovení zatížení z normálové a posouvací síly

$$F_{v,Ed,a} = \sqrt{N_{Ed}^2 + V_{z,Ed}^2} = \sqrt{60.27^2 + 0.228^2} = 60.27 \text{ kN}$$

úhel mezi silou a směrem vláken

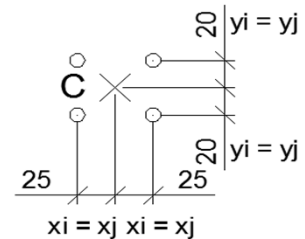
$$\alpha = \arctg(V_{z,Ed} / N_{Ed}) = \arctg(0.228 / 60.27) = 0.22^\circ$$

2. zatížení $F_{v,Ed,b}$

stanovení zatížení z momentu

$$F_{M,x} = M_{y,Ed} * y_j / (\Sigma(x_i^2 + y_i^2)) = 0.232 * 0.02 / ((4*0.02^2) + (4*0.025^2)) = 1.13 \text{ kN}$$

$$F_{M,y} = M_{y,Ed} * x_j / (\Sigma(x_i^2 + y_i^2)) = 0.232 * 0.025 / ((4*0.02^2) + (4*0.025^2)) = 1.41 \text{ kN}$$



stanovení zatížení z normálové a posouvací síly

$$F_N = N_{ed} / n = 60.27 / 4 = 15.07 \text{ kN}$$

$$F_V = V_{z,Ed} / n = 0.228 / 4 = 0.06 \text{ kN}$$

$$n = 4$$

stanovení celkového zatížení

$$F = \sqrt{(F_{M,x} + F_N)^2 + (F_{M,y} + F_V)^2} = \sqrt{(1.13 + 15.07)^2 + (1.41 + 0.06)^2} = 16.27 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed,b} = F / 6 = 16.27 / 6 = 2.71 \text{ kN} \quad 6 \text{ rovin stříhu}$$

úhel mezi silou a směrem vláken

$$\alpha = \arctg((F_{M,y} + F_V) / (F_{M,x} + F_N)) = \arctg((1.41 + 0.06) / (1.13 + 15.07)) = 5.19^\circ$$

Geometrie spoje

průměr spojovacího prostředku

d 10 mm

tabulka minimálních roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro kolíky

Rozteče a vzdálenosti od okrajů/konců	Úhel	Min rozteče nebo vzd od okrajů/konců	
a_1 (rovnoběžně s vlákny)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(3+2 \cdot \cos \alpha) \cdot d$	50 mm
a_2 (kolmo na vlákna)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 \cdot d$	30 mm
$a_{3,t}$ (zatížený konec)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7 \cdot d; 80 \text{ mm})$	80 mm
$a_{3,c}$ (nezatížený konec)	$90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$	$\max(a_{3,t} \cdot \sin \alpha ; 3 \cdot d)$	30 mm
	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	$3 \cdot d$	30 mm
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$\max(a_{3,t} \cdot \sin \alpha ; 3 \cdot d)$	30 mm
$a_{4,t}$ (zatížený okraj)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max((2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 3 \cdot d)$	30 mm
$a_{4,c}$ (nezatížený okraj)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 \cdot d$	30 mm

tabulka nejmenších roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro vložený plech

rozměry desky

h	80 mm
t	5 mm

velikost otvoru

$d_0 = d$ (kolík)	10 mm
-------------------	-------

	nejméně	
e_1 (vzdálenost od konce)	$1.2 \cdot d_0$	12 mm
e_2 (vzdálenost od okraje)	$1.2 \cdot d_0$	12 mm
p_1 (rozteč v podélném směru)	$2.2 \cdot d_0$	22 mm
p_2 (rozteč v kolmém směru)	$2.4 \cdot d_0$	24 mm

použité rozteče nebo vzdálenosti od okrajů/konců

a_1 (rovnoběžně s vlákny)	50 mm	e_1	20 mm
a_2 (kolmo na vlákna)	40 mm	e_2	20 mm
$a_{3,t}$ (zatížený konec)	80 mm	p_1	50 mm
a_4	30 mm	p_2	40 mm

třída spojovacího prostředku

6.8

f_y	480 N/mm ²
$f_{u,k}$	600 N/mm ²

4.11.3 Posouzení spojovacích prostředků

Podle ČSN-EN 1995-1-1.

Spoj dřevo - dřevo

hustota dřeva

ρ_k 385 kg/m³ GL-24h

charakteristická hodnota plastického momentu únosnosti $M_{y,Rk}$

$$M_{y,Rk} = 0.3 * f_{u,k} * d^{2.6} = 0.3 * 600 * 10^{2.6} = 71\,659 \text{ Nmm}$$

charakteristická pevnost v otláčení ve dřevu $f_{h,k}$

$$f_{h,0,k} = 0.082 * (1 - 0.01 * d) * \rho_k$$

$$f_{h,\alpha,k,a} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} * \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{28.41}{1.50 * \sin^2 0.22 + \cos^2 0.22} = 28.41 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,\alpha,k,b} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} * \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{28.41}{1.50 * \sin^2 5.19 + \cos^2 5.19} = 28.30 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{90} = 1.35 + 0.015 * d = 1.35 + 0.015 * 10 = 1.50$$

pro dřevo jehličnatých dřevin

počet spojovacích prostředků pro výpočet

počet v řadě

n 2 skutečný počet

$$n_{ef} = \min \left\{ n^{0.9} * \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \right\} = \min \left\{ 2^{0.9} * \sqrt[4]{\frac{50}{13 * 10}} \right\} = 1.47$$

pro zatížení kolmo k vláknům

$n_{ef} = n$ 2

pro úhly $0^\circ < \alpha < 90^\circ$

α 0.22 ° úhel odklonu od vodorovného směru
 n_{ef} 1.47

počet řad

$n_{\check{r}}$ 2

účinný počet spojovacích prostředků celkově ve směru síly

$$n_c = n_{ef} * n_{\bar{r}} = 1.47 * 2 = 2.94$$

celkový počet spojovacích prostředků

$$n_{celk} = n * n_{\bar{r}} = 2 * 2 = 4$$

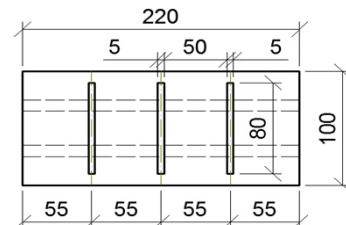
Spoj ocel - dřevo

nejmenší tloušťka dřevěného prvku

$$t_1 = 50 \text{ mm}$$

charakteristická únosnost na vytažení spojovacího prostředku

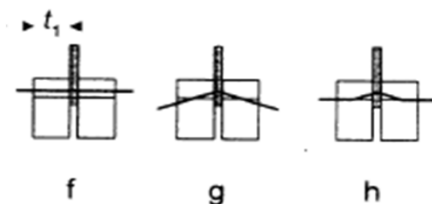
$$F_{ax,Rk} = 0 \text{ kN}$$



síla je neznámá

charakteristická únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{aligned} & f_{h,1,k} * t_1 * d * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} * d * t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ & 2.3 * \sqrt{M_{y,Rk} * f_{h,1,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{aligned} \right.$$



a) pro celý spoj

$$F_{v,Rk,1} = \min \left\{ \begin{aligned} & 28.41 * 50 * 10 * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * 71\,659}{28.41 * 10 * 50^2}} - 1 \right] + \frac{0}{4} \\ & 2.3 * \sqrt{71\,659 * 28.41 * 10} + \frac{0}{4} \end{aligned} \right. = \min \left\{ \begin{aligned} & 14\,206 \text{ N} \\ & 7\,818 \text{ N} \\ & 10\,378 \text{ N} \end{aligned} \right. = 7\,818 \text{ N}$$

b) pro nejzatíženější spojovací prostředek

$$F_{v,Rk,2} = \min \left\{ \begin{aligned} & 28.30 * 50 * 10 * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * 71\,659}{28.30 * 10 * 50^2}} - 1 \right] + \frac{0}{4} \\ & 2.3 * \sqrt{71\,659 * 28.30 * 10} + \frac{0}{4} \end{aligned} \right. = \min \left\{ \begin{aligned} & 14\,149 \text{ N} \\ & 7\,794 \text{ N} \\ & 10\,357 \text{ N} \end{aligned} \right. = 7\,794 \text{ N}$$

návrhová únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku

$$\gamma_M = 1.25$$

$$k_{mod} = 0.9$$

třída provozu 2

$$F_{v,Rd,1} = F_{v,Rk,1} * k_{mod} / \gamma_M = 7\,818 * 0.9 / 1.25 = 5\,629 \text{ N}$$

$$F_{v,Rd,2} = F_{v,Rk,2} * k_{mod} / \gamma_M = 7\,794 * 0.9 / 1.25 = 5\,612 \text{ N}$$

Návrhová únosnost spoje

počet spojovacích prostředků

n_c 2.94

počet rovin střihu

n_s 6 3x 2 střihy

návrhová únosnost spoje

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd,1} * n_c * n_s = 5\,629 * 2.94 * 6 = 99\,354 \text{ N}$$

Posouzení spoje na střih

$F_{v,Ed,a}$ 60.27 kN

$F_{v,Rd} > F_{v,Ed,a}$ 99.35 > 60.27 kN vyhovuje 60.67%

Posouzení nejzatíženějšího spojovacího prostředku

$F_{v,Ed,b}$ 2.71 kN

$F_{v,Rd,2} > F_{v,Ed,b}$ 5.61 > 2.71 kN vyhovuje 48.31%

4.11.4 Posouzení ocelové desky

Podle ČSN-EN 1993-1-1 a ČSN-EN 1993-1-8.

1. Posouzení desky v otláčení (má menší pevnost než spojovací prostředky)

materiál desky a příslušné pevnosti

ocel S235

f_y 235 MPa

f_u 360 MPa

průřezové charakteristiky desky

h 80 mm

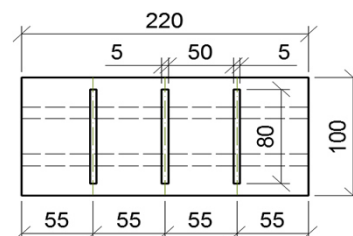
t 5 mm

$$A = h * t = 80 * 5 = 400 \text{ mm}^2$$

$$A_{net} = (h - n_f * d_0) * t = (80 - 2 * 10) * 5 = 300 \text{ mm}^2$$

velikost otvorů v desce

d_0 10 mm



únosnost v otláčení

$$\gamma_{M2} = 1.25$$

1) ve směru zatížení

pro spojovací prostředky na konci

$$\alpha_d = e_1/3d_0 = 20 / (3 * 10) = 0.67$$

pro vnitřní spojovací prostředky

$$\alpha_d = p_1/3d_0 - 1/4 = 50 / (3 * 10) - 1/4 = 1.42$$

2) kolmo na směr zatížení

spojovací prostředky u okraje

$$k_1 = \min(2.8 * e_2/d_0 - 1.7; 2.5) = \min(2.8 * 20/10 - 1.7; 2.5) = 2.50$$

pro vnitřní spojovací prostředky

$$k_1 = \min(1.4 * p_2/d_0 - 1.7; 2.5) = \min(1.4 * 40/10 - 1.7; 2.5) = 2.50$$

$$\alpha_b = \min(\alpha_d; f_{ub}/f_u; 1) = \min(0.67; 600/360; 1) = 0.67$$

$$F_{b,Rd} = k_1 * a_b * f_u * d * t / \gamma_{M2} = 2.50 * 0.67 * 360 * 10 * 5 / 1.25 = 24\,000 \text{ N}$$

posouzení na únosnost v otláčení

Posudek se provádí se silou neredukovanou počtem stříhů.

$F_{b,Rd} > F/3$	24.00	>	5.42 kN	vyhovuje	22.59%
3 ocelové desky					

2. Posouzení na přenos vnitřních sil

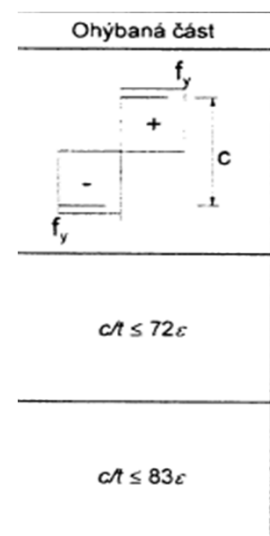
N_{Ed}	60.27 kN	(tah)
$V_{z,Ed}$	0.23 kN	
$M_{y,Ed}$	0.23 kNm	(kladný)

zatřídění průřezu

není namáhání tlakem a zatřídění je proto pro ohyb

$c = h$	80 mm
t	5 mm
c/t	16
$\epsilon = (235/f_y)^{0.5}$	1.00

třída 1: $c/t < 72\epsilon$	16	<	72.00	vyhovuje
-----------------------------	----	---	-------	----------



Tah

$$N_{u,Rd} = 3 * 0.9 * A_{net} * f_u / \gamma_{M0} = 3 * 0.9 * 300 * 360 / 1.00 = 291\,600 \text{ N}$$

3 ocelové plechy

$$N_{Ed}/N_{u,Rd} = 60.27 / 291.60 = 0.21 < 1.0$$

vyhovuje

20.67%

Ohybový moment

statický moment poloviny průřezu k těžišťové ose y

$$S_y(A/2) = A/2 * z_c = 400 / 2 * 20 = 4\,000 \text{ mm}^3$$

$$z_c = h/4 = 80 / 4 = 20 \text{ mm}$$

plastický průřezový modul

$$W_{pl} = 3 * 2 * S_y(A/2) = 3 * 2 * 4\,000 = 24\,000 \text{ mm}^3$$

3 ocelové plechy

posouzení

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl} * f_y / \gamma_{M0} = 24\,000 * 235 / 1.00 = 5\,640\,000 \text{ Nmm}$$

$$M_{y,Ed} < M_{c,Rd}$$

0.23

<

5.64 kNm

vyhovuje

4.11%

Smyk

smyková plocha

$$A_v = 3 * A = 3 * 400 = 1\,200 \text{ mm}^2$$

3 ocelové plechy

posouzení

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_y}{\gamma_{M0} * \sqrt{3}} = \frac{1\,200 * 235}{1.00 * \sqrt{3}} = 162\,813 \text{ N}$$

$$V_{z,Ed} < V_{pl,Rd}$$

0.23

<

162.81 kN

vyhovuje

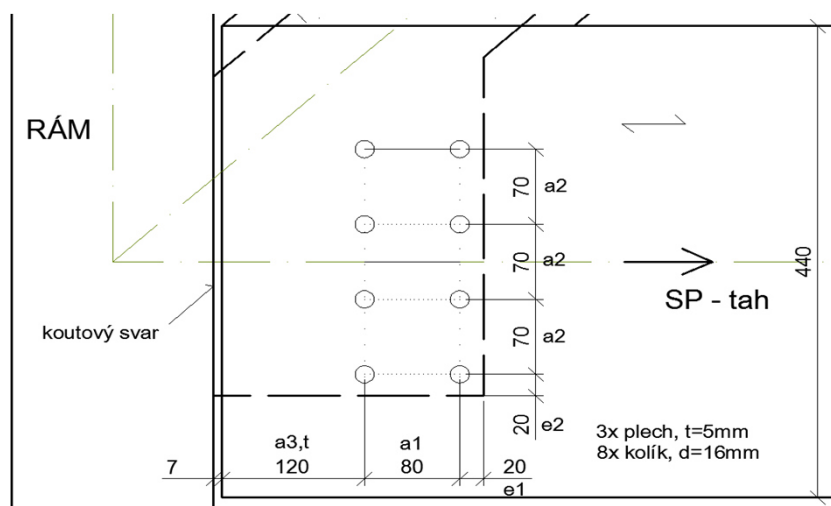
0.14%

4.12 Připojení spodního pásu na rám

Spoj je proveden jako kolíkový se třemi ocelovými deskami, které jsou vloženy do zářezů. Jako mechanické spojovací prostředky jsou použity kolíky. Ty jsou namáhány na stříh.

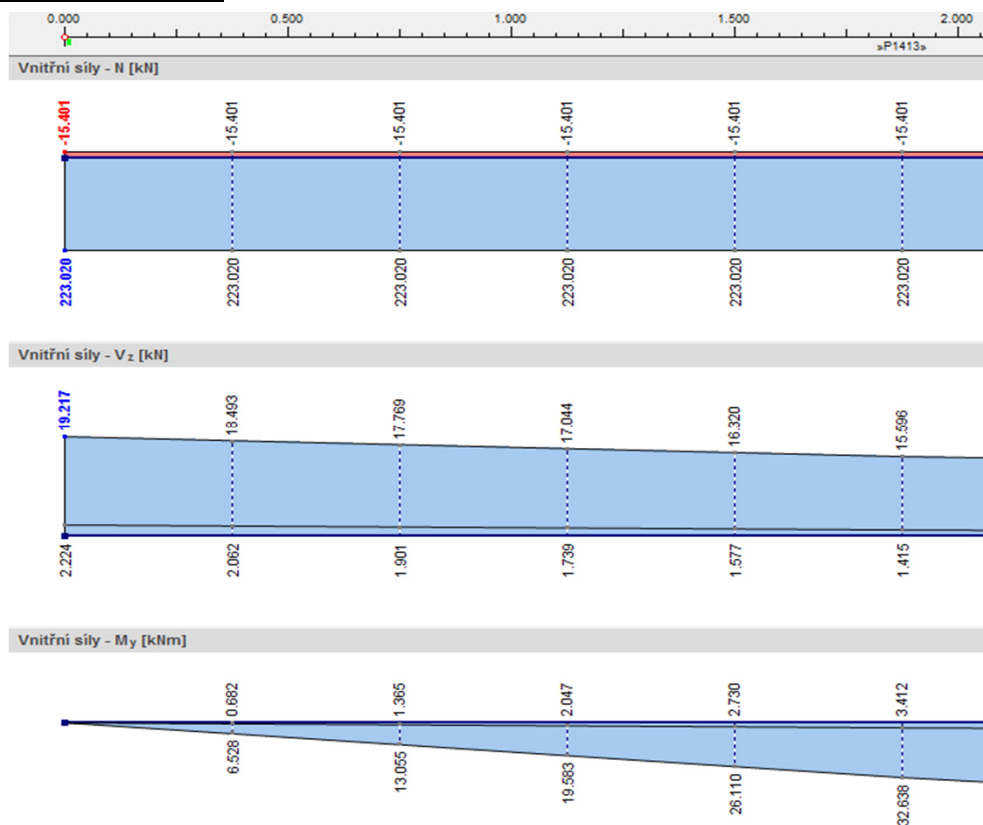
4.12.1 Schéma a vnitřní síly

Schéma spoje



Návrhové vnitřní síly v místě spoje

obálka vnitřních sil



N_{Ed}	223.02 kN	(tah)
$V_{z,Ed}$	19.22 kN	
$M_{y,Ed}$	6.53 kNm	

4.12.2 Zatížení a geometrie spoje

Zatížení

1. zatížení $F_{v,Ed,a}$

stanovení zatížení z normálové a posouvací síly

$$F_{v,Ed,a} = \sqrt{N_{Ed}^2 + V_{z,Ed}^2} = \sqrt{223.02^2 + 19.22^2} = 223.85 \text{ kN}$$

úhel mezi silou a směrem vláken

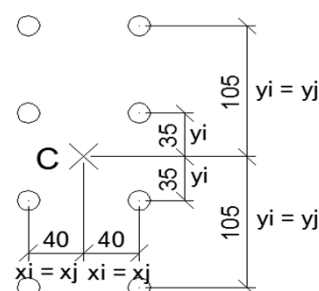
$$\alpha = \arctg(V_{z,Ed} / N_{Ed}) = \arctg(19.22 / 223.02) = 4.92^\circ$$

2. zatížení $F_{v,Ed,b}$

stanovení zatížení z momentu

$$F_{M,x} = M_{y,Ed} * y_j / (\sum x_i^2 + y_i^2) = 6.53 * 0.105 / ((8*0.04^2) + (4*0.035^2) + (4*0.105^2)) = 11.09 \text{ kN}$$

$$F_{M,y} = M_{y,Ed} * x_j / (\sum x_i^2 + y_i^2) = 6.53 * 0.04 / ((8*0.04^2) + (4*0.035^2) + (4*0.105^2)) = 4.23 \text{ kN}$$



stanovení zatížení z normálové a posouvací síly

$$F_N = N_{ed} / n = 223.02 / 8 = 27.88 \text{ kN}$$

$$F_V = V_{z,Ed} / n = 19.22 / 8 = 2.40 \text{ kN}$$

$$n = 8$$

stanovení celkového zatížení

$$F = \sqrt{(F_{M,x} + F_N)^2 + (F_{M,y} + F_V)^2} = 39.53 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed,b} = F / 6 = 39.53 / 6 = 6.59 \text{ kN}$$

6 rovin stříhu

úhel mezi silou a směrem vláken

$$\alpha = \arctg((F_{M,y} + F_V) / (F_{M,x} + F_N)) = \arctg((4.23 + 2.40) / (11.09 + 27.88)) = 9.65^\circ$$

Geometrie spoje

průměr spojovacího prostředku

d 16 mm

tabulka minimálních roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro kolíky

<i>Rozteče a vzdálenosti od okrajů/konců</i>	<i>Úhel</i>	<i>Min rozteče nebo vzd od okrajů/konců</i>	
a_1 (rovnoběžně s vlákny)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(3+2 * \cos \alpha) * d$	80 mm
a_2 (kolmo na vlákna)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 * d$	48 mm
$a_{3,t}$ (zatížený konec)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7 * d; 80 \text{ mm})$	112 mm
$a_{3,c}$ (nezatížený konec)	$90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$	$\max(a_{3,t} * \sin \alpha); 3 * d$	48 mm
	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	$3 * d$	48 mm
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$\max(a_{3,t} * \sin \alpha); 3 * d$	48 mm
$a_{4,t}$ (zatížený okraj)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max((2 + 2 * \sin \alpha) * d; 3 * d)$	48 mm
$a_{4,c}$ (nezatížený okraj)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 * d$	48 mm

tabulka nejmenších a největších roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro vložený plech

rozměry desky

h	345 mm
t	5 mm

velikost otvoru

$d_0 = d$	16 mm
-----------	-------

nejméně

e_1 (vzdálenost od konce)	$1.2 * d_0$	19.2 mm
e_2 (vzdálenost od okraje)	$1.2 * d_0$	19.2 mm
p_1 (rozteč v podélném směru)	$2.2 * d_0$	35.2 mm
p_2 (rozteč v kolmém směru)	$2.4 * d_0$	38.4 mm

použité rozteče nebo vzdálenosti od okrajů/konců

a_1 (rovnoběžně s vlákny)	80 mm	e_1	20 mm
a_2 (kolmo na vlákna)	70 mm	e_2	20 mm
$a_{3,t}$ (zatížený konec)	120 mm	p_1	80 mm
		p_2	70 mm

třída spojovacího prostředku

6.8

f_y	480 N/mm ²
$f_{u,k}$	600 N/mm ²

4.12.3 Posouzení spojovacích prostředků

Podle ČSN-EN 1995-1-1.

Spoj dřevo - dřevo

hustota dřeva

ρ_k 385 kg/m³ GL-24h

charakteristická hodnota plastického momentu únosnosti $M_{y,Rk}$

$$M_{y,Rk} = 0.3 * f_{u,k} * d^{2.6} = 0.3 * 600 * 16^{2.6} = 243\,212 \text{ Nmm}$$

charakteristická pevnost v otláčení ve dřevu $f_{h,k}$

$$f_{h,0,k} = 0.082 * (1 - 0.01 * d) * \rho_k = 0.082 * (1 - 0.01 * 16) * 385 = 26.52 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,\alpha,k,a} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} * \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{26.52}{1.59 * \sin^2 4.92 + \cos^2 4.92} = 26.40 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,\alpha,k,b} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} * \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{26.52}{1.59 * \sin^2 9.65 + \cos^2 9.65} = 26.07 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{90} = 1.35 + 0.015 * d = 1.35 + 0.015 * 16 = 1.59$$

pro dřevo jehličnatých dřevin

počet spojovacích prostředků pro výpočet

počet v řadě

n 2 *skutečný počet*

$$n_{ef} = \min \left\{ n^{0.9} * \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} = \min \left\{ 2^{0.9} * \sqrt[4]{\frac{80}{13 * 16}} = 1.47 \right. \right.$$

pro zatížení kolmo k vláknům

$n_{ef} = n$ 2

pro úhly $0^\circ < \alpha < 90^\circ$

α 4.92 ° *úhel odklonu od vodorovného směru*

$$n_{ef} = 1.47 + (2 - 1.47) * 4.92 * (1/90) = 1.50$$

počet řad

n_r 4

účinný počet spojovacích prostředků celkově

$$n_c = n_{ef} * n_{\gamma} = 1.50 * 4 = 5.99$$

celkový počet spojovacích prostředků

$$n_{celk} = n * n_{\gamma} = 2 * 4 = 8$$

Spoj ocel - dřevo

menší tloušťka dřevěného prvku

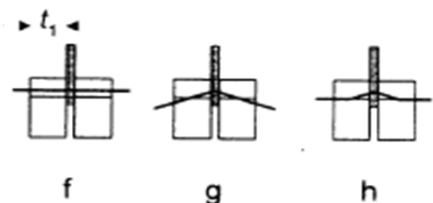
$$t_1 \quad 50 \text{ mm}$$

charakteristická únosnost na vytažení spojovacího prostředku

$$F_{ax,Rk} \quad 0 \text{ kN} \quad \text{síla je neznámá}$$

charakteristická únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} * t_1 * d * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} * d * t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2.3 * \sqrt{M_{y,Rk} * f_{h,1,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$



a) pro celý spoj

$$F_{v,Rk,1} = \min \left\{ \begin{array}{l} 26.40 * 50 * 16 * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * 243\,212}{26.40 * 16 * 50^2}} - 1 \right] + \frac{0}{4} \\ 2.3 * \sqrt{243\,212 * 26.40 * 16} + \frac{0}{4} \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} 21\,123 \text{ N} \\ 14\,979 \text{ N} \\ 23\,314 \text{ N} \end{array} \right. = 14\,979 \text{ N}$$

b) pro nejzatíženější spojovací prostředek

$$F_{v,Rk,2} = \min \left\{ \begin{array}{l} 26.09 * 50 * 16 * \left[\sqrt{2 + \frac{4 * 243\,212}{26.09 * 16 * 50^2}} - 1 \right] + \frac{0}{4} \\ 2.3 * \sqrt{243\,212 * 26.09 * 16} + \frac{0}{4} \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} 20\,869 \text{ N} \\ 14\,867 \text{ N} \\ 23\,173 \text{ N} \end{array} \right. = 14\,867 \text{ N}$$

návrhová únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku

$$\begin{array}{lll} \gamma_M & 1.25 & GL-24h \\ k_{mod} & 0.7 & \text{třída provozu 3} \end{array}$$

$$F_{v,Rd,1} = F_{v,Rk,1} * k_{mod} / \gamma_M = 14\,979 * 0.7 / 1.25 = 8\,388 \text{ N}$$

$$F_{v,Rd,2} = F_{v,Rk,2} * k_{mod} / \gamma_M = 14\,867 * 0.7 / 1.25 = 8\,326 \text{ N}$$

Návrhová únosnost spoje

počet spojovacích prostředků

n_c 5.99

počet rovin střihu

n_s 6 3 ocelové desky

návrhová únosnost spoje

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd,1} * n_c * n_s = 8\,388 * 5.99 * 6 = 301\,690 \text{ N}$$

Posouzení spoje na střih

$F_{v,Ed,a}$ 223.85 kN

$F_{v,Rd} > F_{v,Ed,a}$ 301.69 > 223.85 kN vyhovuje 74.20%

Posouzení nejzatíženějšího spojovacího prostředku

$F_{v,Ed,b}$ 6.59 kN

$F_{v,Rd,2} > F_{v,Ed,b}$ 8.33 > 6.59 kN vyhovuje 79.13%

4.12.4 Posouzení ocelové desky

Podle ČSN-EN 1993-1-1 a ČSN-EN 1993-1-8.

1. Posouzení desky v otláčení (má menší pevnost než spojovací prostředky)

materiál desky a příslušné pevnosti

ocel S235

f_y 235 MPa

f_u 360 MPa

průřezové charakteristiky desky

h 345 mm

t 5 mm

$$A = h * t = 345 * 5 = 1\,725 \text{ mm}^2$$

$$A_{net} = (h - n_f * d_0) * t = (345 - 4 * 16) * 5 = 1\,405 \text{ mm}^2$$

velikost otvorů v desce

d_0 16 mm

únosnost v otláčení

$$\gamma_{M2} = 1.25$$

1) ve směru zatížení

pro spojovací prostředky na konci

$$\alpha_d = e_1/3d_0 = 20 / (3 \cdot 16) = 0.42$$

pro vnitřní spojovací prostředky

$$\alpha_d = p_1/3d_0 - 1/4 = 80 / (3 \cdot 16) - 1/4 = 1.42$$

2) kolmo na směr zatížení

spojovací prostředky u okraje

$$k_1 = \min(2.8 \cdot e_2/d_0 - 1.7; 2.5) = \min(2.8 \cdot 20/16 - 1.7; 2.5) = 1.80$$

pro vnitřní spojovací prostředky

$$k_1 = \min(1.4 \cdot p_2/d_0 - 1.7; 2.5) = \min(1.4 \cdot 70/16 - 1.7; 2.5) = 2.50$$

$$\alpha_b = \min(\alpha_d; f_{ub}/f_u; 1) = \min(0.42; 600/360; 1) = 0.42$$

$$F_{b,Rd} = k_1 \cdot a_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = 1.80 \cdot 0.42 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 5 / 1.25 = 17\,280 \text{ N}$$

posouzení na únosnost v otláčení

Posudek se provádí se silou neredukovanou počtem stříhů.

$F_{b,Rd} > F/3$	17.28	>	13.18 kN	vyhovuje	76.25%
3 ocelové desky					

2. Posouzení na přenos vnitřních sil

$$N_{Ed} = 223.02 \text{ kN} \quad (\text{tah})$$

$$V_{z,Ed} = 19.22 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 6.53 \text{ kNm}$$

zatřídění průřezu

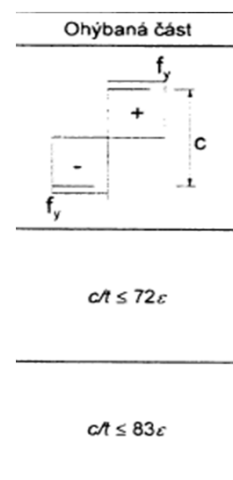
není namáhání tlakem a zatřídění je proto pro ohyb

$$c = h = 345 \text{ mm}$$

$$t = 5 \text{ mm}$$

$$c/t = 69$$

$$\epsilon = (235/f_y)^{0.5} = 1.00$$



$$c/t \leq 72\epsilon$$

$$c/t \leq 83\epsilon$$

třída 2: $c/t < 83\epsilon$	69	<	83.00	vyhovuje
-----------------------------	----	---	-------	----------

Tah

$$N_{u,Rd} = 3 \cdot 0.9 \cdot A_{net} \cdot f_u / \gamma_{M0} = 3 \cdot 0.9 \cdot 1\,405 \cdot 360 / 1.00 = 1\,365\,660 \text{ N}$$

$$N_{Ed} / N_{u,Rd} = 223.02 / 1\,365\,660 = 0.16 < 1.0$$

vyhovuje

16.33%

Ohybový moment

statický moment poloviny průřezu k těžišťové ose y

$$S_y(A/2) = A/2 \cdot z_c = A/2 \cdot z_c = 1725/2 \cdot 86.25 = 74\,390 \text{ mm}^3$$

$$z_c = h/4 = 345 / 4 = 86.25 \text{ mm}$$

plastický průřezový modul

$$W_{pl} = 3 \cdot 2 \cdot S_y(A/2) = 3 \cdot 2 \cdot 74\,390 = 446\,344 \text{ mm}^3$$

posouzení

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl} \cdot f_y / \gamma_{M0} = 446\,344 \cdot 235 / 1.00 = 1.05 \cdot 10^8 \text{ Nmm}$$

$$M_{y,Ed} < M_{c,Rd}$$

6.53

<

104.89 kNm

vyhovuje

6.22%

Smyk

smyková plocha

$$A_v = 3 \cdot A = 3 \cdot 1\,725 = 5\,175 \text{ mm}^2$$

posouzení

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{5\,175 \cdot 235}{1.00 \cdot \sqrt{3}} = 702.13 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} < V_{pl,Rd}$$

19.22

<

702.13 kN

vyhovuje

2.74%

5 Dynamika

Podle normy ČSN EN 1991-2 - Zatížení mostů dopravou.

Analýza dynamického chování lávky se musí provést pokud je některá vlastní frekvence svislého kmitání v oblasti frekvencí 1.0 až 5.0 Hz nebo vodorovného kmitání v oblasti frekvencí 0.5 až 2.5 Hz.

V národní příloze jsou uvedeny frekvence od pěší dopravy.

svislý směr	1 Hz až 3 Hz
vodorovný směr	0.5 Hz až 1.5 Hz

Výpočet vlastních frekvencí je proveden v přídatném modulu RF-DYNAM pro program RFEM.

První 4 vlastní frekvence jsou pro vodorovné kmitání a poslední frekvence pro kmitání svislé. Nejmenší frekvence pro vodorovné kmitání je 3.25 Hz a není tedy v intervalu 0.5 až 2.5 Hz. Nejmenší frekvence pro svislé kmitání je 9.26 Hz a v intervalu 1.0 až 5.0 Hz opět neleží.

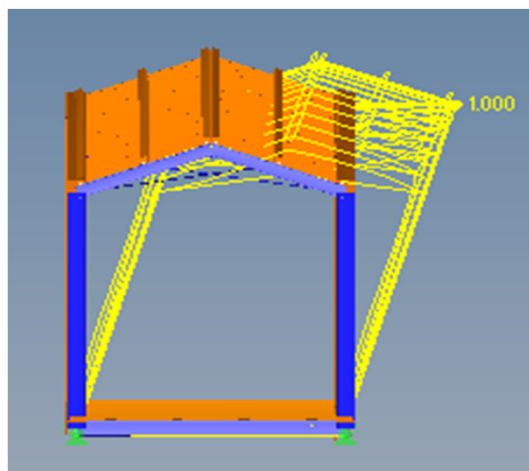
Dynamická analýza se nemusí provádět.

Výstup z modulu RF-DYNAM

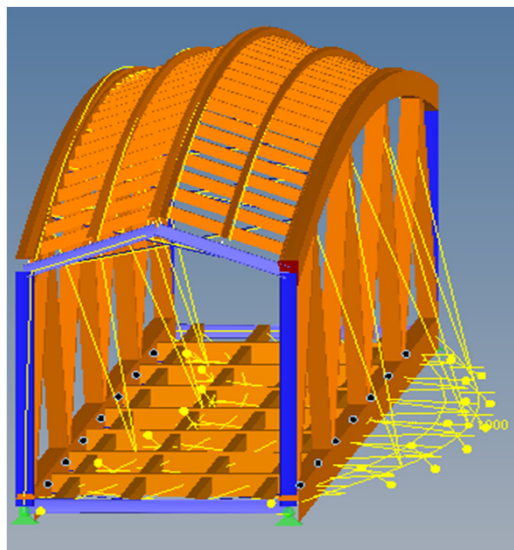
2.1 Vlastní čísla, frekvence a periody

Vl. tvar č.	A Vlastní číslo λ [1/s ²]	B Kruhová frekvence ω [rad/s]	C Vlastní frekvence f [Hz]	D Vlastní perioda T [s]
1	416.893	20.418	3.250	0.308
2	666.403	25.815	4.109	0.243
3	1879.376	43.352	6.900	0.145
4	2839.798	53.290	8.481	0.118
5	3387.534	58.203	9.263	0.108

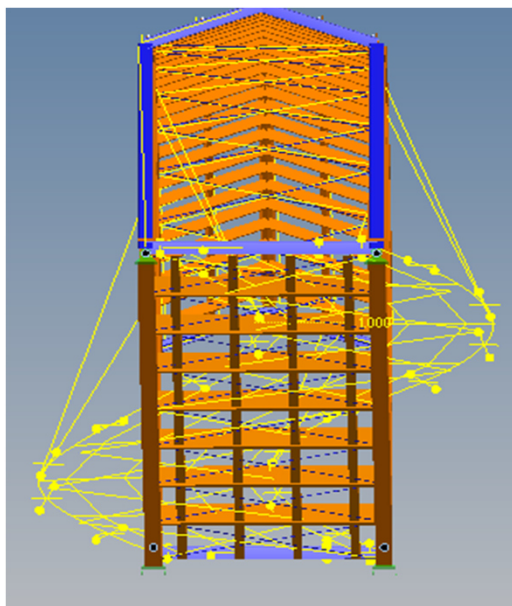
vlastní tvar 1



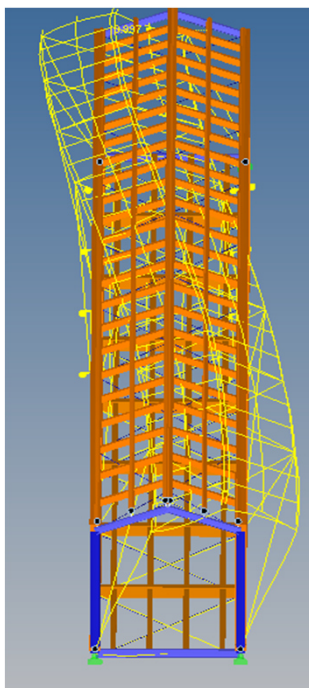
vlastní tvar 2



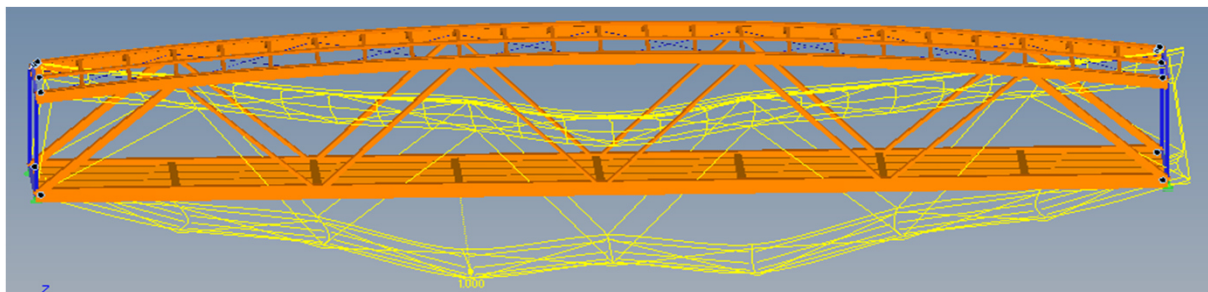
vlastní tvar 3



vlastní tvar 4



vlastní tvar 5



6 Uložení lávky

Lávka pro pěší a cyklisty je uložena na elastomerových ložiscích od firmy SVP mosty, s.r.o.

Tato ložiska se snadno instalují a vyznačují se nízkonákladovou údržbou.

Ložisko je vybráno z podkladů výrobce na základě svislé reakce, vodorovné reakce a posunu.

1. Posun ložiska

1.1 posun od změny teploty

délka lávky

L 30 m

součinitel teplotní roztažnosti

α 0.0000054 K⁻¹

extrémní hodnoty teplot

T_{MIN} -35 °C

T_{MAX} 50 °C

teplota při osazení

T 10 °C

rozdíly teplot

$\Delta T + = T_{\text{MAX}} - T$ 40 °C

$\Delta T - = |T_{\text{MIN}}| + T$ 45 °C

posuny od změny teploty

$\Delta L_T + = \Delta T + \cdot \alpha \cdot L$ 0.0065 m

$\Delta L_T - = \Delta T - \cdot \alpha \cdot L$ 0.0073 m

1.2 posun od průhybu lávky

výška spodního pásu

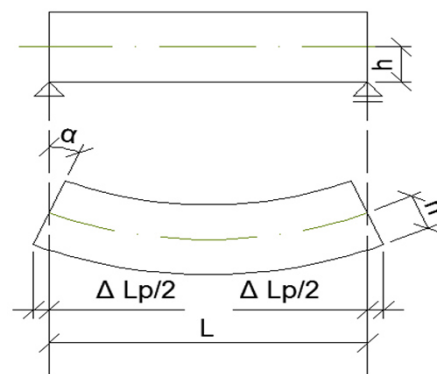
h 0.44 m

úhel natočení

0.0118 rad

posun od průhybu

$\Delta L_p = 2 \cdot \alpha \cdot h$ 0.010384 m



1.3 součet posunů

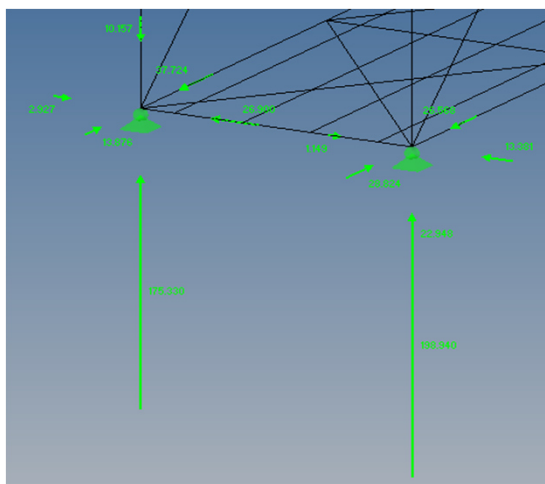
$\Delta L + = \Delta L_T + + \Delta L_p$ 0.017 m

$\Delta L - = \Delta L_T -$ 0.007 m

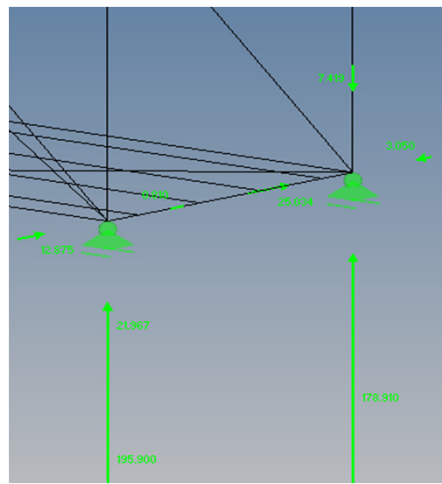
2. podporové reakce

Jsou získány z programu Dlubal RFEM. Reakce jsou v charakteristických hodnotách.

a) neposuvná podpora



b) posuvná podpora



3. Vybrané ložisko

Elastomerové ložisko Typ 1

Šířka x délka, průměr	Připust- né zati- žení	Výška ložiska			Tloušťka elastomerů		Počet elasto- merových vrstev	Tloušťka elasto- merů	Tloušťka ocelové desky	Připustný pohyb		Připustný úhel pootočení			
		Typ 1	Typ 2	Typ 5	Typ 1	Typ 2, 5				Typ 1	Typ 2, 5	η, α			
a×b, D	Fz	d			T		n	t	s	V=+ -		‰			
mm	kN	mm			mm		—	mm	mm	mm					
		14			10		1			7,0		3,0	3,0	4,0	
		21	42	32	15	10	2			10,5	7,0	6,0	6,0	8,0	
		28	49	39	20	15	3			14,0	10,5	9,0	9,0	13,0	
		35	56	46	25	20	4			17,5	14,0	12,0	12,0	17,0	
150×200	300	42	63	53	30	25	5	5	2	21,0	17,5	15,0	15,0	21,0	
		49	70	60	35	30	6			23,3	21,0	18,0	18,0	25,0	
		56	77	67	40	35	7			25,3	23,3	21,0	21,0	29,0	
		63	84	74	45	40	8			27,0	25,3	24,0	24,0	33,0	
			91	81		45	9				27,0	27,0	27,0	37,0	

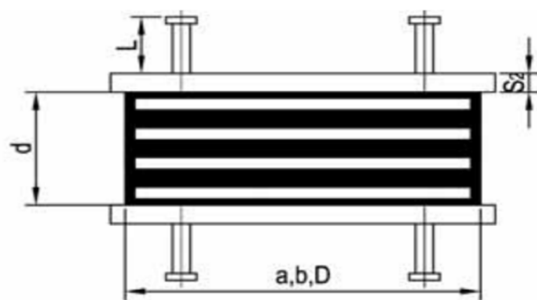
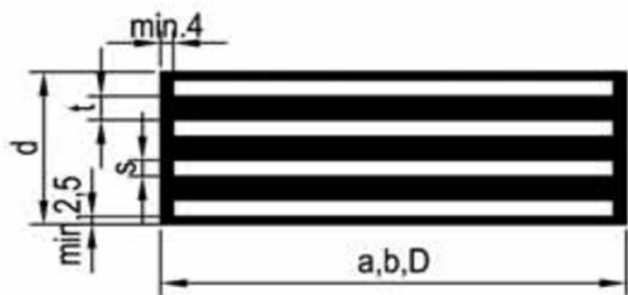
Tabulka 1

Velikost elastomerových ložisek	Typ ložiska	Označení	Měrná jednotka	100×100 do 200×400 Ø 200
				mm
Počet spřahovacích trnů	1,2	-	ks	1
Délka spřahovacího trnu	1,2	L	mm	100
Průměr spřahovacího trnu	1,2	d ₁	mm	19
Vnější deska ložisková	2	S ₁	mm	15
Vnější deska kotevní	1,2	S ₂	mm	15
Tloušťka disku	2	S ₄	mm	10
Průměr disku	2	d ₃	mm	60
Tloušťka desky	5	S ₃	mm	10

zdroj:

http://www.svp-mosty.cz/wp-content/uploads/2015/12/Katalog_elastomer.pdf

	označení	hodnota	jednotka
výška ložiska	d	35 mm	
tloušťka elastomerů	T	25 mm	
počet elastomerových vrstev	n	4 ks	
tloušťka elastomerů	t	5 mm	
tloušťka ocelové desky	s	2 mm	
přípustný pohyb	V=+-	17.5 mm	
přípustný úhel pootočení	α	12 ‰	
rozměr a	a	150 mm	
rozměr b	b	200 mm	
vnější deska kotevní	S2	15 mm	
počet spřahovacích trnů	-	1 ks	
délka spřahovacího trnu	L	100 mm	
průměr spřahovacího trnu	d1	19 mm	



D TECHNICKÁ ZPRÁVA

1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY NAVRŽENÉ KONSTRUKCE

Navrženou konstrukcí je lávka pro pěší a cyklisty přes řeku Desnou o rozpětí přibližně 30 m, šířce 3 m a proměnné výšce mezi 4 m a 5 m, která se nachází v lokalitě zámeckého parku v obci Loučná nad Desnou v okrese Šumperk. Jako hlavní materiál konstrukce je použito dřevo a to jak lepené lamelové dřevo, tak rostlé dřevo. Převážně je použito lepené lamelové dřevo. Třída lepeného lamelového dřeva je GL-24h, třída rostlého dřeva je C24 v případě prvků tvořících mostovku a D30 v případě pochozí vrstvy mostovky.

Jako druhý materiál konstrukce je použita ocel třídy S235.

V celé délce lávky je zajištěn průjezdný profil pro dva vedle sebe jedoucí cyklisty o tvaru přibližně čtverce a délce strany 2.50 m. Šířka lávky, která je přibližně 3 m byla volena s ohledem na tento profil.

Lávka je zastřešená z důvodu velkých klimatických zatížení a z důvodu ochrany dřeva. Sklon střechy je 20°.

Na lávce není uvažováno žádné vozidlo a zabránění vjezdu jakéhokoliv vozidla je konstrukčně zabráněno sloupky na každé straně lávky.

Konstrukci lávky tvoří dva příhradové nosníky vzájemně spojené příčníky, krokvemi a krajními ocelovými rámy. Příhradový nosník je tvořen spodním pásem, horním pásem, osmi diagonálami a krajními svislicemi, které jsou součástí ocelového rámu.

Celá konstrukce je prostorová příhradová soustava.

Na krokve jsou uloženy vaznice, které jsou podporou pro trapézový plech. K příčníkům jsou připevněny podélníky, na kterých leží prkna, pochozí vrstva mostovky.

Ocelové rámy jsou osazeny na elastomerní ložiska a ty jsou uloženy na betonové krajní opěry, které ale nejsou předmětem řešení této práce a jejich vyobrazení ve výkresech je pouze orientační.

Konstrukce je doplněna ztužidly z ocelových křížených táhel v úrovni mostovky a střechy.

Jako spojovací materiál dřevěné části jsou použity svorníky o pevnostech 8.8 a 6.8, kolíky o pevnosti 6.8, hřebíky, ocelové desky vkládané do zářezů prvků a ocelové patky z oceli S235.

Spoje ocelové části konstrukce jsou svarové.

Dále je podrobnější popis jednotlivých částí konstrukce.

1.1 Pochozí vrstva mostovky

Je tvořena z prken o šířce 250 mm a tloušťce 40 mm. Materiál je odolnější dřevo třídy D30.

1.2 Trapézový plech

Střešní krytina je trapézový plech Hacierco 92/275 od výrobce ArcelorMittal. Materiál je daný výrobcem a jedná se o ocel S320.

Plech je ve sklonu 20° a uložen je na vaznicích.

1.3 Horní pás příhradového nosníku

Prvek o výšce 320 mm a šířce 220 mm je z lepeného lamelového dřeva GL-24h a je po délce 30 m zakřiven. Poloměr zakřivení je 113 m. Pás je rozdělen montážním spojem ve vzdálenosti 13 m na dvě části o délkách 13 m a 17 m.

Montážní spoj je proveden vložením 3 ocelových desek z oceli S235 o tloušťkách 5 mm a spojením pomocí svorníku o pevnosti 6.8 a kolíků o pevnostech 6.8. Přípoje diagonál k hornímu pásu jsou provedeny opět vložením ocelových desek a spojením kolíků a svorníků. Průměry těchto spojovacích prostředků jsou 16 mm.

1.4 Spodní pás příhradového nosníku

Prvek má výšku 440 mm a šířku 220 mm. Tato šířka je pro všechny částí příhradového nosníku stejná a prvky tak vzájemně lícují. Délka je 30m. Materiál je lepené lamelové dřevo GL-24h. Spodní pás je rozdělen montážním spojem ve vzdálenosti 9.5 m na dvě části o délkách 9.5 m a 20.5 m.

Montážní spoj je proveden vložením 3 ocelových desek z oceli S235 o tloušťkách 5 mm a spojením pomocí svorníku o pevnosti 6.8 a kolíků o pevnostech 6.8. Přípoje diagonál k hornímu pásu jsou provedeny opět vložením ocelových desek a spojením kolíků a svorníků. Průměry těchto spojovacích prostředků jsou 16 mm.

1.5 Diagonály příhradového nosníku

Příhradový nosník je až na výjimku v podobě montážních spojů výše uvedených pásů symetrický, diagonál je dohromady 8, ale vždy dvě jsou stejné. Materiál je pro všechny diagonály stejný a to lepené lamelové dřevo GL-24h.

Průřezy diagonál směrem od okraje ke středu nosníku jsou 200 x 220 mm, 120 x 220 mm, 140 x 220 mm a 100 x 220 mm. Přibližné délky prvních dvou diagonál jsou 5.1 m a dalších dvou 5.4 m.

Diagonály lícují s pásy nosníku a jsou k nim připojeny 3 styčnickovými deskami o tloušťkách 5 mm vložených do prvků a spojeny kolíky třídy 6.8 s průměrem 10 mm. Spojovací prostředky krajních diagonál s průřezem 200 x 220 mm mají průměr 16 mm.

1.6 Vaznice

Vaznice má výšku 100 mm a šířku 80 mm a je z lepeného lamelového dřeva GL-24h. Je po délce 30 m spojitá, zakřivená a ve vzdálenosti 13 m je montážní spoj, který rozděluje vaznici na části o délkách 13 m a 17 m.

Montážní spoj je proveden vložením ocelové desky z materiálu S235 o tloušťce 5 mm a spojením těsnými svorníky třídy 8.8 o průměru dříku 16 mm.

1.7 Krokev

Krokev má výšku 160 mm a šířku 100 mm. Přibližná délka je 3 m a je ve sklonu střešní roviny. Je z lepeného lamelového dřeva GL-24h. Není vyrobená jako nosník s proměnnou výškou, ale výška je po délce konstantní. Uprostřed rozpětí, kde je vrchol, je proveden kolíkový spoj s 2 vloženými ocelovými deskami z oceli S235 o tloušťkách 5 mm. Kolíky jsou třídy 6.8 a průměr je 10 mm.

Krokve jsou připojeny na horní pás příhradového nosníku ve dvou variantách a to podle umístění. První varianta je prostě připojená krokev. Připojení je provedeno pomocí ocelové atypické botky z oceli S235 o tloušťce plechu 3 mm. Jako spojovací prostředky jsou použity hřebíky s průměrem dříku 4 mm.

Druhá varianta v sobě zahrnuje připojení táhel, kdy je ocelová botka nahrazena pouze krajními částmi botky, které jsou přivařeny k plechu z oceli S235 o tloušťce 16 mm sloužícímu pro připojení táhel. Tyto krajní části jsou připojeny svorníky třídy 6.8 s průměrem dříku 10 mm k hornímu pásu hlavního nosníku.

Krokve jsou připevněny ve sklonu tak, aby na ně mohly být uloženy vaznice.

Vzdálenost krokví je přibližně 1.25 m.

1.8 Podélník

Podélník má výšku 200 mm a šířku 120 mm a je z rostlého dřeva C24. Délka je přibližně 3.75 m.

Připojení k příčníku je provedeno pomocí ocelové atypické botky z oceli S235 tloušťky 4 mm, která je spojena s podélníkem svorníky pevnosti 6.8 o průměru 20 mm. Pro připojení k příčníku jsou použity svorníky pevnosti 6.8 a průměru dříku 10 mm. V příčníku je vložen plech z oceli S235 o tloušťce 5 mm pro navýšení počtu stříhů.

poznámka

Vkládané desky mají v celé konstrukci jednotnou tloušťku 5 mm a plechy, které jsou použity pro konstrukci patek a čelních přípojí byly nejprve zvoleny podle běžných tloušťek výrobců 3 mm a pokud tyto nevyhověly, byly navýšeny.

1.9 Příčník

Příčník má výšku 280 mm a šířku 200 mm a je z rostlého dřeva C24. Délka je přibližně 3 m. Vzdálenost příčníků je 3.75 m.

Připojení ke spodnímu pásu hlavního nosníku je provedeno za pomoci k sobě svařených plechů z oceli S235 kdy jeden o tloušťce 5 mm je vložen do zářezu v příčníku a navařen na čelní desku o tloušťce 3 mm. Ta je připojena k pásu pomocí svorníků třídy 6.8 o průměru dřívků 16 mm. K vložené desce je ještě přivařena deska o tloušťce 10 mm, která slouží pro připojení táhel.

1.10 Táhla

Táhla jak horní tak dolní tvoří kosočtverečnou soustavu. Táhla v úrovni střechy jsou více namáhána a mají větší průřez 16 mm, zatímco pro táhla v úrovni mostovky stačí průřez 12 mm.

Táhla nesou název konstrukční táhla PROTAH a jsou dodány firmou FIRESTA-Fišer.

Připojení táhel ke konstrukci je v případě dolních táhel v místě napojení příčníků na spodní pás příhradového nosníku a v případě horních v místě napojení krokví na horní pás příhradového nosníku.

1.11 Rám

Rám je ztužující prvek celé lávky a je umístěn na obou koncích lávky příčně. Je z oceli S235. Jsou k němu připojeny oba pásy příhradových nosníků a je uložen na elastomerových ložiscích.

Rám tvoří čtverec složený ze sloupů, příčel a příčníků, které jsou ke sloupům rámově připojeny. Průřezy, které jsou vždy vytvořeny svařením 2 profilů UPE, tak aby tvořily uzavřený profil jsou voleny podle dimenzí dřevěných prvků. Sloupy jsou ze 2xUPE220 a lícují s šířkou příhradového nosníku 220 mm. Příčel je ze 2xUPE 140 a příčník ze 2xUPE200, protože podélník má výšku 200 mm.

1.12 Uložení lávky

Výše zmíněný rám je uložen na elastomerových ložiscích typu 1 od firmy SVP, s.r.o. Stejně jako v případě konstrukčních táhel PROTAH jsou přednostně voleny české firmy jako dodavatelé pro konstrukci.

Elastomerová ložiska jsou na jednom konci posuvná a na druhém konci neposuvná.

2 POŽADAVKY NA MATERIÁL A SPOJOVACÍ PROSTŘEDKY

2.1 Požadavky na dřevěné prvky

Je nutná vhodná impregnace dřeva. V normě ČSN EN 1995-1-1 je odkaz na normu EN 335-1, ve které lze najít třídu ohrožení a na normu EN 351-1, která se zabývá ochrannými prostředky.

Dřevěná lávka je zařazena do třídy ohrožení 3 – exteriér bez kontaktu s terénem. Typ biocidu je Iv, P, B a W

Iv ... preventivně proti dřevokaznému hmyzu

P ... preventivně proti dřevokazným houbám způsobujícím hnědou a bílou hnilobu

B ... preventivně proti dřevozabarvujícím houbám a plísním

W ... ochranný prostředek je vhodný i do exteriéru, tj. účinná složka se ze dřeva působením vody

nevyluhuje

Technologie aplikace biocidu – Podtlakovo-přetlakové technologie.

2.2 Požadavky na ocelové prvky

Je nutná ochrana proti korozi.

Požadavek je aby ochrana byla v souladu s EN 1090 jak se píše v normě ČSN EN 1993-1-1.

2.3 Požadavky na kovové spojovací prostředky a spoje

Je nutná ochrana proti korozi. Minimální požadavky uvádí norma ČSN EN 1995-1-1

Některé prvky konstrukce jsou ve třídě provozu 2 a jiné ve třídě provozu 3. Požadavky se převezmou jednotně pro třídu provozu 3, aby nedošlo k pomíchání.

Ostatní hřebíky ... Fe/Zn 25c

Kolíky a svorníky ... Fe/Zn 25c

Ocelové desky ... Fe/Zn 25c

3 MONTÁŽ

Pro konstrukci se uvažují 2 montážní celky, levá a pravá část lávky. Levá část má délku spodních pásů 9.5 m a délku horních pásů 13 m. Pravá část má délku spodních pásů 20.5 m a délku horních pásů 17 m. Vaznice, které jsou spojitě, mají montážní spoj ve stejné části lávky jako horní pásy konstrukce, v levé části mají délku 13 m a v pravé zbývajících 17 m.

Součástí montážních spojů horních a spodních pásů jsou svorníky, pro rychlejší spojení.

Montážní celky jsou kompletní s příčníky, podélníky, krokvy a vaznicemi. Na místě se po spojení těchto celků doplní 2 diagonály s průřezem 100 x 220 mm a 4 podélníky v mostovce.

Konstrukce se smontuje v mostárně kompletně bez umístění trapézových plechů, pochozí vrstvy mostovky a táhel, tyto se doplní až na místě.

Montážní celky budou převezeny naležato z důvodu velké výšky lávky. Byla provedena studie, při které se zjistilo, že v úseku, ve kterém bude most přepravován je možné převážet most přes oba pruhy tak aby byla zajištěna bezpečnost provozu.

4 OCHRANA

Ochrana lávky před vlivy prostředí je zajištěna pomocí střechy, která chrání zejména prvky v horní části lávky proti zvýšené vlhkosti v podobě navátého sněhu nebo deště za větrného počasí.

Další ochranou je zábradlí, které částečně chrání prvky spodní části lávky. Toto zábradlí je svařené z U profilů a vyplněné svařovanou sítí. Lícuje s vnějším okrajem spodního pásu a diagonál.

Jsou uvažovány mezery mezi deskami tvořícími pochozí vrstvu mostovky a mezi deskami a spodními pásy příhradových nosníků.

Zdroje:

[1] ČSN EN 351-1. *Trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva – Rostlé dřevo ošetřené ochrannými prostředky – Část 1: Klasifikace průniku a příjmu ochranného prostředku*. Praha: Český normalizační institut, 2008.

[2] ČSN EN 335-1. *Trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva – Definice tříd použití – Část 1: Všeobecné zásady*. Praha: Český normalizační institut, 2007.

[3] Dřevěné lávky a mosty – konstrukční řešení. *Vzdělávací portál pro žáky a studenty, pedagogické pracovníky a pro rodiče s informacemi o dřevozpracujícím a stavebním průmyslu v Moravskoslezském kraji*. [online]. © 2007- [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://drevostavebniportal-popularizace.msdk.cz/files/drevene-lavky-a-mosty.pdf>

[4] Chemická ochrana dřeva. *Odborný portál pro profesionály v oblasti stavebnictví*. [online]. 28.08.2008 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/materialy-a-vyroby/lepidla-natery-tmely/chemicka-ochrana-dreva>

[5] Návrh dřevěné lávky. *Konstrukce*. [online]. 27.11.2014 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/navrh-drevene-lavky/>

[6] Technická zpráva – statická část. *Konstrukce*. [online]. © 2011-2012 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/UserFiles/file/K/2012/composite/martinek.pdf>

[7] Technická zpráva. *Město Jiříkov*. [online]. © 2014- [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: http://www.mestojirikov.cz/ke-stazeni/skolka/SO01/D200/D200a/76713-TZ-003-0_DSP.pdf

E ZÁVĚR A POUŽITÉ ZDROJE

Byla navržena konstrukce dřevěné lávky o délce 30 m, šířce 3m a proměnné výšce od 4 do 5 m přes řeku Desnou v obci Loučná nad Desnou.

Nejprve byly uváženy varianty konstrukce, ze kterých byla vybrána prostorová příhradová konstrukce s proměnnou výškou. Na ní byl vypracován statický posudek, který je doplněn orientační spotřebou materiálu a výkresovou dokumentací.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

SEZNAM NOREM

- [1] ČSN EN 1990. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [2] ČSN EN 1991-1-1. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [3] ČSN EN 1991-1-3 ed. 2. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [4] ČSN EN 1991-1-4 ed. 2. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [5] ČSN EN 1991-1-6. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-6: Obecná zatížení – Zatížení během provádění*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [6] ČSN EN 1991-2. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [7] ČSN EN 1993-1-1. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [8] ČSN EN 1993-1-3. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-3: Obecná pravidla – Doplnující pravidla pro tenkostěnné za studena tvarované prvky a plošné profily*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [9] ČSN EN 1993-1-8. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [10] ČSN EN 1995-1-1. *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [11] ČSN 01 3467. *Výkresy inženýrských staveb. Výkresy mostů*. Praha: Vydavatelství úřadu pro normalizaci a měření, 1986.
- [12] ČSN 01 3483. *Výkresy stavebních konstrukcí. Výkresy kovových konstrukcí*. Praha: Vydavatelství úřadu pro normalizaci a měření, 1986.
- [13] ČSN 01 3487. *Výkresy stavebních konstrukcí. Výkresy dřevěných stavebních konstrukcí*. Praha: Vydavatelství úřadu pro normalizaci a měření, 1987.
- [14] ČSN EN 14080. *Dřevěné konstrukce – Lepené lamelové dřevo a lepené rostlé dřevo – Požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [15] ČSN EN 351-1. *Trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva – Rostlé dřevo ošetřené ochrannými prostředky – Část 1: Klasifikace průniku a příjmu ochranného prostředku*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [16] ČSN EN 335-1. *Trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva – Definice tříd použití – Část 1: Všeobecné zásady*. Praha: Český normalizační institut, 2007.

SEZNAM TIŠTĚNÝCH ZDROJŮ

[17] *Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5. Step 1., Navrhování a konstrukční materiály.* Zlín: Bohumil Koželouh, c1998. ISBN 80-238-2620-4.

[18] *Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5. STEP 2, Navrhování detailů a nosných systémů.* Přeložil Bohumil KOŽELOUH. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2004. ISBN 80-86769-13-5.

[19] KARMAZÍNOVÁ, Marcela a Milan PILGR. *Ocelové konstrukce vícepodlažních budov: pomůcka pro cvičení.* Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2570-9.

[20] KUKLÍK, Petr. *Dřevěné konstrukce.* Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2005. Technická knižnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 80-86769-72-0.

[21] MELCHER, J. a STRAKA, B. *Kovové konstrukce - Konstrukce průmyslových budov,* Praha: SNTL, 1. vyd. 1977, 2. vyd. 1978, 3. vyd. 1981, Brno: Ediční středisko VUT, 4. vyd. 1982, 5. vyd. 1985 (skriptum).

[22] *Navrhování komunikací pro cyklisty: TP [technické podmínky] 179.* Mariánské Lázně: Koura, 2006. ISBN 80-902527-3-7.

SEZNAM ELEKTRONICKÝCH ZDROJŮ

[23] DREXLER, Martin. *Lávka pro pěší.* Brno, 2014. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Karel Sýkora.

[24] GRUSSMANN, Jan. *Lávka pro pěší.* Brno, 2015. 38 s., 323 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Karel Sýkora.

[25] KYTÝR, Jiří, Zbyněk KERŠNER, Rostislav ZÍDEK a Zbyněk VLK. *ZÁKLADY STAVEBNÍ MECHANIKY: MODUL BD01-MO1 SILOVÉ SOUSTAVY.* BRNO, 2004.

[26] STRAKA, Bohumil a Karel SÝKORA. *DŘEVĚNÉ KONSTRUKCE: MODUL BO03 - M03 SPOJE DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ.* BRNO.

SEZNAM INTERNETOVÝCH STRÁNEK, DOKUMENTŮ A JINÝCH

[27] Dačická nová lávka. *Dačicko.cz.* [online]. 22.07.2008 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://dacicko.blog.cz/0807/dacicka-nova-lavka>

[28] Dimenzování prvků dřevěných konstrukcí. *Prolignum.* [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: http://www.prolignum.cz/fileadmin/prolignum/media.cz/7_Dimenzovani_prvku_drevenych_konstrukci_Petr_Kuklik.pdf

- [29] Dřevěná lávka přes slepé rameno Malše. *Časopis Stavebnictví*. [online]. © 2007- [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: http://www.casopisstavebnictvi.cz/drevena-lavka-pres-slepe-rameno-malse_A444_I10_07
- [30] Dřevěné lávky a mosty – konstrukční řešení. *Vzdělávací portál pro žáky a studenty, pedagogické pracovníky a pro rodiče s informacemi o dřevozpracujícím a stavebním průmyslu v Moravskoslezském kraji*. [online]. © 2007- [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://drevostavebniportal-popularizace.msdk.cz/files/drevene-lavky-a-mosty.pdf>
- [31] Dřevo a mostní konstrukce. *SILNICE ŽELEZNICE*. [online]. 9.3.2009 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/drevo-a-mostni-konstrukce/>
- [32] Elastomerová stavební ložiska. *SVP mosty*. [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: http://www.svp-mosty.cz/wp-content/uploads/2015/12/Katalog_elastomer.pdf
- [33] Evidenční list hlásného profilu. *Hlásná a předpovědní povodňová služba*. [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=307332
- [34] Geologická mapa 1:50 000. *Česká geologická služba*. [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show_map.php?mapa=g50&y=553477&x=1067813&s=1
- [35] Hasslacher Norica Timber. *ArchiExpo*. [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.archiexpo.com/prod/hasslacher-norica-timber/product-59471-909613.html>
- [36] Holzbrücke über die Dahme. *Structurae*. [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <https://structurae.de/bauwerke/holzbruecke-ueber-die-dahme/fotos>
- [37] Hřebíkové spoje . *FAST VUT v Brně*. [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: http://www.fce.vutbr.cz/KDK/pilgr.m/BO03/Hrebikove_spoje.pdf
- [38] Chemická ochrana dřeva. *Odborný portál pro profesionály v oblasti stavebnictví*. [online]. 28.08.2008 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/materialy-a-vyroby/lepidla-natery-tmely/chemicka-ochrana-dreva>
- [39] Je asfaltový šindel vhodná střešní krytina?. *Bydlení pro každého*. [online]. 22.05.2013 [cit. 2017-01-04]. Dostupné z: <http://strechy.bydleniprokazdeho.cz/strechy-a-prislusenstvi/je-asfaltovy-sindel-vhodna-stresni-krytina.php>
- [40] Katalog spojovacích prostředků. *BOVA spol. s r.o.*. [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: http://www.bova-nail.cz/upl/ke_stazeni/100001s_Katalog_20BOVA.pdf
- [41] Klasifikace rámců a složitějších patrových konstrukcí. *FSv ČVUT v Praze*. [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://people.fsv.cvut.cz/~machacek/pomucky/Klasifikace.pdf>
- [42] Loučná nad Desnou. *Mapy.cz*. [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=15.0200258&y=50.2353042&z=7&source=muni&id=401>
- [43] Loučná nad Desnou. *Mapy.cz*. [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=17.0894466&y=50.0687931&z=18&base=ophoto&source=muni&id=401>
- [44] Loučná nad Desnou. *Wikipedia: the free encyclopedia*. [online]. 2001- [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Loučná_nad_Desnou

- [45] Mapa sněhové oblasti ČR velká nová. *Sníh na střeše*. [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.snihnastrese.cz/img/mapa-snehove-oblasti-cr-velka-nova.jpg>
- [46] Mapa zatížení sněhem na zemi. *Mapa zatížení sněhem na zemi*. [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.snehovamapa.cz>
- [47] Návrh dřevěné lávky. *Konstrukce*. [online]. 27.11.2014 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/navrh-drevene-lavky/>
- [48] Pedestrian Timber Bridges. *Western Wood Structures*. [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.westernwoodstructures.com/index.php/timber-bridges/pedestrian-bridges/>
- [49] Problémy stability. *FAST VUT v Brně*. [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: http://www.fce.vutbr.cz/KDK/pilgr.m/BO02/BO02_cvi_09.pdf
- [50] Protah – Katalog systémových táhel. *Firesta*. [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.firesta.cz/download/katalog-protah.pdf>
- [51] Příručka 2 – Navrhování dřevěných konstrukcí podle Eurokódu 5. *Fakulta stavební – Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava*. [online]. © 2008- [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: http://fast10.vsb.cz/temtis/documents/handbook_2_CZ.pdf
- [52] Stavby s vůní dřeva. *CB s.r.o.*. [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.cb-cz.eu/konstrukce.html>
- [53] Tabulky únosností trapézových profilů ArcelorMittal (výroba Senica) . *Stavební fakulta, Žilinská univerzita v Žiline*. [online]. 25.6.2010 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: http://svf.uniza.sk/kskm/web/pomocky/bc/kk2/Trapezove_profily.pdf
- [54] Technická zpráva – statická část. *Konstrukce*. [online]. © 2011-2012 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/UserFiles/file/K/2012/composite/martinek.pdf>
- [55] Technická zpráva. *Město Jiříkov*. [online]. © 2014- [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: http://www.mestojirikov.cz/ke-stazeni/skolka/SO01/D200/D200a/76713-TZ-003-0_DSP.pdf
- [56] Vikýřovice – lávka. *Turistika.cz*. [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.turistika.cz/fotogalerie/86091/vikyrovce-lavka?layout=phone>
- [57] Základní případy namáhání. *FAST VUT v Brně*. [online]. [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: http://www.fce.vutbr.cz/KDK/pilgr.m/BO02/BO02_cvi_07.pdf